مدخل الى فلسفة العلوم

دراسات ونصوص في الايبستيمولوجيا المعاصرة

الدكتور محمد عابد الجابري

الجزء الثاني

# المنهاج التجريبي وتطور الفكر العلمي



دار الطليعة - بيروت

# المنهاج التجريبي
# وتطوّر الفكر العلمي

مدخل إلى فلسفة العلوم
دراسات ونصوص في الايبستيمولوجيا المعاصرة

الجزء الثاني

# المنهاج التجريبي وتطوّر الفكر العلمي

الدكتور محمد عابد الجابري

دار الطّليعة للطّباعة والنشر
بيروت

الطبعة الاولى
المغرب — 1976
الطبعة الثانية
آذار ( مارس ) 1982

# القسم الأول

## المنهاج التجريبي:
## الفرضية والنظرية

# تقديم

يبدأ العلم الحديث روحا ومنهاجا وممارسة مع جاليلو.

يمكن ان نتبين هذا اذا رجعنا القهقرى بالفكر العلمي انطلاقا من مرحلته الراهنة. اننا سنضطر في عملية الارتداد هذه الى اجتياز منعطف شهدته بداية القرن العشرين، لتأخذ طريقنا، بعد ذلك، في الضيق، وآفاقنا في التقلص حتى نصل بداية القرن السابع عشر، حيث يجلس الشاب جاليلو على صخرة تنتهي عندها الطريق المعبدة، لتبدأ شعاب ملتوية، باهتة احيانا، واضحة احيانا، تشق التلال والوهاد، بصعوبة واضطراب. واذا بحثنا في هذه الشعاب عن «شارات» الطريق ومحطات السفر، وجدناها قليلة تمتد عبر مسافات بعيدة، يكاد المرء لا يتبين ما يربط بعضها ببعض. ثم تستمر هذه الشارات والشعاب خافتة مندثرة متباعدة لتغوص في اعماق الزمن مع الحضارات القديمة، حضارات الشرق القديم.

وفي رحلتنا هذه عبر الزمن، في اتجاه الماضي، سنجد انفسنا، اول الامر، امام شارات تنتمي زمنيا الى عصر جاليلو نفسه، ولكنها لم تكن تتجه بكليتها الى المستقبل. لقد كانت ذات سهمين، احدهما يشير الى الماضي والآخر الى المستقبل. وكان الاول منهما اقوى وأوضح.

هذه شارة يقف بجانبها كبلر **Kepler** (1571–1630) يرصد الكواكب ليستخلص منها شكل المدارات التي ترسمها حول الشمس خلال حركتها الابدية، وليتبين العلاقة الرياضية بين الزمن الذي يقضيه الكوكب في الدوران حول مداره، والمسافة التي تفصله عن الشمس. وفعلا تمكن كبلر من صياغة قوانين تحمل اسمه، ما زالت تحتفظ بمكانتها في العلم المعاصر. لقد دشنت اعمال كبلر طريقة منهجية ثمينة عبر عنها احد الباحثين المعاصرين بقوله: «على أولئك الذين يعتقدون ان قوانين الطبيعة تكتشف بواسطة التعميم، انطلاقا من ملاحظات كثيرة، ان يعرفوا ان كبلر قد اكتشف قوانينه بواسطة اجراء تحقيقات حول فرضيات كثيرة صاغها لتفسير معطيات الحركة الخاصة بالمريخ وحده». ولكن هذه القاعدة المنهجية الثمينة التي عمل بها كبلر كانت ملفوفة في تصورات واعتبارات تشده الى الماضي شدا. لقد كان يعتقد ان على الكواكب ان تتخذ شكلا اهليلجيا في حركتها حول الشمس، لان هذا الشكل هو الانسب، فهو يحاكي شكل

البيضة. وبما ان البيضة هي اصل الحياة، فانها - في نظره - هي المؤهلة، ودون غيرها لتمثيل حركة العالم الحقيقية. اما الرياضيات فقد لجأ الى استعمالها لضبط حركة الكواكب اعتقادا منه بانها وحدها الكفيلة بعكس الروح الالهية التي تتجلى في النظام والقانون.... كان كبلر يمارس العلم، ولكنه كان يتنفس، بملء رئتيه، مناخ القرون الوسطى، المناخ الذي كرسته الكنيسة وفرضته على العلم والعلماء في تلك الحقبة من التاريخ.

هناك «شارات طريق» اخرى تقف زمنيا بجانب جاليلو، ويقف بجانب احداها فرنسيس بيكون يخطط على الورق للمستقبل، موليا وجهه نحو الماضي عازفا عن ممارسة البحث العلمي. ويقف بجانب شارة اخرى الفيلسوف العظيم ديكارت الذي قوض دعائم الصرح الارسطي في القرون الوسطى، ليقيم صرحا جديدا يحل محله، فاستهوته الميتافيزيقا، وشغلته عن العلم بعد ان أسهم فيه اسهاما كبيراً، وكأنه يرى ان تجديد العلم لا يتأتى الا بتجديد اساسه الفلسفي. وعلى جانب هذا، وعلى مقربة منه يقف باسكال، ذلك الرجل الذي لم يشغله العلم والتجارب العلمية عن الانصات لقلبه الكبير. لقد امسك هذا الرجل العصا من الوسط بتوازن عجيب، فكان عالما بين الرهبان، وراهبا بين العلماء، فيلسوفا بين الادباء، واديبا بين الفلاسفة.

هؤلاء الثلاثة سنقف عندهم وقفة طويلة متكئين على الصخرة الجاليلية. فلنرجع القهقرى، اذن.

لنرجع الى الماضي مسافة قرن من الزمن، الى ذلك المنعطف الذي يقف فيه كوبرنيك (1473-1543) مشغولا بنقد النظام الفلكي الذي شيده بطليموس قبله بأكثر من اربعة عشر قرنا، والذي ظل طوال هذه الفترة الاطار العام الذي تحرك فيه العلم والفلسفة واللاهوت، الى ان جاء كوبرنيك بثورته. واي ثورة اشهر من الثورة الكوبرنيكية!.

لم تكن عظمة كربونيك راجعة فقط الى كونه قال بحركة الارض حول الشمس، بعكس ما كان يعتقد من قبل، فتلك فكرة افترضها فلاسفة قدماء، ولكنها بقيت فكرة يتيمة معزولة. وانما ترجع عظمة كوبرنيك الى كونه استطاع ان يشيد على هذه الفكرة الجديدة - القديمة نظاما كونيا متناسقا متكاملا، اضفى على التصور البشري للكون مزيدا من النظام والمعقولية وفتح آفاق جديدة امام البحث العلمي والرؤية الفلسفية. كتب كوبرنيك في مقدمة كتابه «حركات الاجرام السماوية»، فقال: «لقد بذلت جهدي لاقرأ من جديد كتب الفلاسفة التي تمكنت من الحصول عليها حتى أتأكد مما اذا كان احدهم قال بوجود حركات اخرى للاجرام الرياضية في المدارس. فوجدت اولا أن شيشرون يذكر بأن هيكتاس من سيراكوس كان يعتقد بأن الارض تدور، ووجدت ثانيا أن بلوتارخ يشير الى ان آخرين اخذوا بهذا الرأي(1)... فانطلقت من هذه الفكرة،

---

(1) كان ارسطاخوس Aristarchus الساموسي - القرن الثالث قبل الميلاد، اول من قال بفكرة دوران الارض حول نفسها وحول الشمس. وقد اتهمه معاصروه بكونه يزعج بفكرته هذه، راحة الالهة. ولذلك حاربوه.

وأخذت أتأمل في حركة الارض... وعلى الرغم من ان هذه الفكرة بدت لي افتراض وجود بعض الدوائر لتفسير حركات النجوم، انه يحق لي أن اجرب ما اذا كان افتراض حركة ما للارض سيعطى تفسيرا افضل لحركة الافلاك السماوية. وهكذا، بعد ان افترضت وجود حركات نسبتها، في هذا الكتاب، الى الارض، وجدت اخيرا، وبعد بحث دقيق، انه عندما تربط حركات الكواكب الاخرى بدوران الارض، وعندما تحسب، على هذا الاساس، حركة كل نجم من النجوم، فان الظواهر الفلكية الاخرى تنتج عن ذلك. واكثر من هذا فنظام النجوم واحجامها وكراتها والسماء ذاتها، كل ذلك يشكل كلا مرتبط الاجزاء، بحيث لا يمكن لأي شيء ان يزحزح من مكانه دون حدوث فوضى في الكون بأجمعه ».

لقد قلب كوبرنيك نظام الكون كما كان يتصور قديما، ولكنه احتفظ في ثورته هذه ببعض المسلمات التي شيد عليها الصرح القديم. لقد بقيت فكرة « الحركة الدائرية المنتظمة » التي قال بها القدماء احدى الافكار الاساسية الموجهة له، بل انه ينتقد القدماء لانهم لم يحترموا هذه الحركة احتراما تاما في تصوراتهم، مع انها - في نظره - الحركة الوحيدة التي يمكن ان تفسر تعاقب الحوادث بشكل منتظم، والتي بامكانها ان تكون لا نهائية، وقادرة على ان تعيد الماضي. واكثر من ذلك واشد غرابة، انه دافع عن الفكرة التي تجعل الشمس مركزا للكون بدعوى أنها اجمل الكواكب، وانها تنير العالم، وانها لكي تستطيع انارة العالم لا بد ان تحتل فيه المركز. فرضيات ميتافيزيقية لا ندري هل وجهت البحث العلمي فعلا، ام انها جاءت عقبه، لتقدم لنتائجه نوعا من التبرير حتى يقبلها العصر.

والى جانب الشارة البارزة التي يقف بجانبها كوبرنيك، هناك لوحة فنية رائعة يقف ازاءها الرسام الايطالي العظيم ليوناردو دافينشي (1452-1519) لقد كان هذا الرسام الخالد يتمتع بموهبة فنية عظيمة دفعته الى استشفاف الدعامتين الاساسيتين للبحث العلمي الحديث: التجربة والرياضيات. لقد خلف لنا مذكرات نحس عند قراءة بعض شذراتها وكأن جاليلو، او أحد المحدثين، هو الذي يتكلم. من ذلك قوله: « سأقوم بتجربة قبل ان أتقدم في البحث، لان غايتي هي ان اقدم الحقائق أولا، ثم أقيم البرهان ثانيا بواسطة العقل. والتجربة مرغمة على اتباع هذه الطريقة نفسها، الطريقة الصحيحة التي يجب على الباحثين في ظواهر الطبيعة اتباعها. واذا كانت الطبيعة تبتدىء من الاسباب وتنتهي في التجريب علينا، فمن الواجب ان نسلك طريقا معاكسا فنبتدىء من التجربة لننتهي بواسطتها الى الاسباب ». ان هدف البحث العلمي «ليس الكشف عن الجواهر الحقيقية وماهيتها الصحيحة، بل ان هدفه منحصر في معرفة بعض صفات هذه الجواهر »، وسيلته في ذلك، الرياضيات « اذ لا يمكن ان نسمي اي بحث علما صحيحا ما لم يكن يتبع طرق البراهين الرياضية ». ان الرياضيات هي وحدها التي تفصل بين الآراء المتعارضة، « ومن يحتقر الرياضيات لن يستطيع افحام خصومه، واسكات الآراء التي تجر الى حرب كلامية ».

على أن هذه الروح العلمية التي انطلقت ليوناردودافينشي، لم تكن نتيجة موهبته الفنية بقدر ما كانت من ايحاء نسيم العلم العربي الذي كان يهب عليه من خلال الكتب التي كان يقرؤها، كتب اساتذة جامعة باريز، ومدارس ايطاليا. هنا، في هذه الكتب والمدارس نسمع اسم ابن رشد يتردد بكثرة كطبيب وعالم وفيلسوف يقدم لعلماء القرون الوسطى العلم العربي والفلسفة **الارسطية** مطهرة - الى حد كبير - من الشوائب والتحريفات.

ومع رجوعنا القهقرى قليلا نجد طابع العلم العربي في جميع الشارات واللافتات. فهذا روجر بيكون (1214-1292) ينقل منهجية العلم العربي فيشيد بالتجربة وينصح معاصريه بقراءة كتب الفارابي الذي كان يضعه الى جانب بطليموس واوقليدس، في صف واحد. وهذا ويتليو **Witelo** يصنف كتابا في البصريات عام **1270** يعتمد فيه اعتمادا كليا على ابن الهيثم. وهذا جيرار دي كريمونا (1114-1187) يقضي سنين عديدة في طليطلة يترجم عن العربية اثنين وتسعين كتابا في الفلك والطب والطبيعيات. وهذا ليونار المعروف بفيبوناكشي (القرن الثالث عشر) ينقل الجبر العربي ويؤلف كتابا ظل المرجع الاساسي في الرياضيات الى القرن السادس عشر. الى غير هؤلاء من التراجمة والمؤلفين الذين نقلوا العلم العربي - والعلم اليوناني من اللغة العربية - ابتداء من القرن العاشر.

هنا مع النهضة الاروبية الاولى، نهضة القرنين الثاني عشر والثالث عشر، نلتقي مع العلوم العربية مترجمة الى اللاتينية، ونشهد «عملية التمثل الكبرى لهذه العلوم» في مركزين رئيسيين: صقلية والاندلس. ومنهما انتشر العلم العربي في باقي الاقطار الاروبية وخاصة في ايطاليا وفرنسا وانجلترا.

في هذه المرحلة من رحلتنا نجد انفسنا مضطرين الى التوجه غربا الى الاندلس وشرقا الى بغداد. اما باقي الجهات فظلام دامس، «لقد كان العرب يمثلون في القرون الوسطى التفكير العلمي والحياة الصناعية العلمية اللذين تمثلهما في اذهاننا اليوم المانيا الحديثة. وخلافا للاغريق، لم يحتقر العرب المختبرات العلمية والتجارب الصبورة. اما في الطب وعلم الآليات بل في جميع العلوم، فقد استخدموا العلم في خدمة الحياة الانسانية مباشرة، ولم يحتفظوا به كغاية في حد ذاته. وقد ورثت اوروبا عنهم بسهولة ما ترغب ان تسميه بـ«روح بيكون» التي تطمح الى «توسيع حكم الانسان» على الطبيعة..»(2). ويقول باحث آخر: «ان ما ندعوه بالعلم ظهر في اوروبا كنتيجة لروح جديدة في البحث وطرق جديدة في الاستقصاء.. طريقة التجربة والملاحظة والقياس، ولتطور الرياضيات في صورة لم تعرفها اليونان، هذه الروح وتلك المناهج ادخلها العرب الى العالم الاوروبي»(3).

(2) جون هرمان راندل: تكوين العقل الحديث. ترجمة جورج طعمة. الجزء الاول ص 314. دار الثقافة بيروت 1955.

(3) بريفو Briffault. ذكره علي سامي النشار في كتابه مناهج البحث عند مفكري الاسلام ص384 القاهرة 1967.

نستطيع ان نسترسل في الاتيان بمثل هذه الشهادات التي تنوه بدور العلم العربي في النهضة العلمية الحديثة التي دشنها جاليلو في أوروبا.. ولكن ما قيمة هذه الشهادات اذا كانت تشكل المصدر الوحيد لمعرفتنا بتراثنا العلمي. انها تبعث فينا الاعتزاز ولا شك... ولكنه اعتزاز من يجهل نفسه!.

من الاندلس الى بغداد، ومن بغداد الى الاسكندرية حيث بطليموس وارخميدس واوقليدس، ومنها الى اثينا.. ثم الى بابل ومصر.. تلك هي المحطات الرئيسية التي على الباحث المؤرخ ان يقف عندها طويلا في رحلته الى الماضي، انطلاقا من الحاضر.

والدرس الاساسي الذي نستخلصه من هذه الرحلة هو ان العلم لا وطن له. انه ينتقل بين الاوطان ويعم سائر البلدان التي تكون مستعدة لاستقباله، لفهمه واغنائه. استوطن العلم القديم مصر وبابل واثينا والاسكندرية، واستوطن العلم الحديث البلدان الاوروبية الغربية. وبين العلم القديم والعلم الحديث كان العلم العربي. لقد جمع العلم العربي العلم القديم فحافظ عليه وهضمه واغناه وقدمه لاوروبا لتقوم هي بعملية التجديد بعد ان مهد العرب الطريق ورسموا معالم الافق. لقد ظلت العلوم العربية سائدة في اوروبا، تشكل ارقى ما وصلت اليه المعرفة البشرية، لمدةستة قرون، من القرن العاشر الى القرن السابع عشر واجزاء القرن الثامن عشر.

هذا ما يحدثنا به الغربيون.

* * *

لماذا، اذن، بداية العلم الحديث مع جاليلو وبداية القرن السابع عشر؟ هناك اكثر **من سبب**:

**1**- اذا رجعنا القهقرى، كما فعلنا، من العصر الحاضر، نجد خيط التطور مستمرا متواصلا - على الرغم من منعطف القرن العشرين - الى جاليلو. اما قبل هذا الاخير، فشعاب الطريق متقطعة، «وسهام التوجيه» تتجه الى الماضي لا الى المستقبل.

2- ان الفكر العلمي في القرون الوسطى الاروبية كان يخضع للمفاهيم الارسطية والتصورات اللاهوتية المسيحية. فكان قديما في روحه، قديما في اطاره ومناخه، قديما في مناهجه وادواته.

**3**- ان العلم الحديث وليد الحضارة الحديثة وعنصر فاعل فيها. والحضارة الاوروبية الحديثة لم تستكمل مقومات انطلاقتها الا في القرن السابع عشر. (أما نوع هذه المقومات الاقتصادية الاجتماعية الثقافية فلا تدخل في نطاق هذا الكتاب).

4- ان تاريخ العلوم السائد الآن تاريخ اوروبي النزعة تتجه انظاره من اينشتين وماكس بلانك، الى نيوتن وجاليلو، ومنها الى اوقليدس وأرسطو. أما العلم العربي، فهو لا يحظى في احسن الاحوال الا باشارات عامة عابرة. اما المسار العام فلا يتخذ منه

سوى قنطرة مر عليها التراث الاغريقي الى العالم الغربي. ومن هنا كان القديم - في هذا المنظور التاريخي الاوروبي - يعني العلم الارسطي، وكان الحديث يعني العلم الجاليلي.

واذا تحدث الباحثون اليوم عن «القطيعة الايبستيمولوجية» التي احدثها اينشتين وماكس بلانك، فهي قطيعة بالنسبة الى علم نيوتن وجاليلو. واذا اشادوا بـ «القطيعة الايبستيمولوجية» التي احدثها جاليلو فهي قطيعة بالنسبة الى علم ارسطو. اما العلم العربي فلم يدخل بعد في الحساب، بكيفية جدية. من هنا يبدو ان القطيعة الجاليلية ربما ليست في حقيقتها قطيعة ايبستيمولوجية، بل «قطيعة» تاريخية تلغي استمرارية التاريخ وتطوره، وتقفز مباشرة من جاليلو الى ارسطو.

لقد قطع جاليلو فعلا مع ارسطو، ولكن هل «قطع» مع ابن الهيثم او الرازي مثلا؟.

انه سؤال قد لا يجيب عنه الا الباحثون العرب. ولكننا - نحن العرب في العصر الحاضر - سجناء رؤيتين: الرؤية الاوروبية التي فتحنا عليها اعيننا منذ بدء يقظتنا الحديثة. وهي تكيف - بل تهيمن على - جانب المعاصرة في شخصيتنا العلمية والحضارية. والرؤية الغزالية - الشهرزورية - العثمانية(4) التي تشوش جانب الاصالة في تفكيرنا وتقف حاجزا بيننا وبين ربط ماضينا بحاضرنا في اتجاه المستقبل المنشود. فما العمل لجعل الصراع الذي يحتدم في شخصيتنا الراهنة ينتهي لصالح الفارابي وابن سينا والرازي وابن الهيثم والخوارزمي وابن رشد؟.

اننا نعتقد ان الانكباب على دراسة جاليلو وديكارت وهويغنز ونيوتن واينشتين وامثالهم دراسة تاريخية واعية ستسلحنا بالادوات الفكرية التي تمكننا من اكتشاف علمي، لا خطابي، موضوعي، لا ذاتي، لمختلف الوجوه المشرقة في تراثنا، ويا ما اكثرها؟ هناك طريق واحد يقودنا نحو «العلم العربي»، العلم العربي في الماضي، والعلم العربي في المستقبل. انه الانكباب على دراسة الفكر العلمي الحديث وتطوره، والاجتهاد في هضمه وتمثله.

ان الماضي كالمستقبل لا يكتشف ولا يبنى، او يعاد بناؤه، الا على اساس الحاضر وانطلاقا منه. وحاضرنا العلمي هو العلم الحديث. فلنجعل من دراسة هذا العلم، موضوعا ومنهاجا، روحا ومناخا، وسيلة لبناء حاضرنا وبعث ماضينا والانطلاق نحو مستقبلنا.. لنتسلح، اذن، بهذه الرؤية الجدلية التي تجعل الحاضر منطلقا لبعث الماضي وبناء المستقبل. اننا ان فعلنا ذلك تجنبنا في آن واحد مخاطر «الاغتراب» واغلال «الاعتراب».

في هذا الافق، ومن اجل الهدف الفنا هذا الكتاب.

---

(4) نسبة الى أبي حامد الغزالي، وابن الصلاح الشهرزوري، والدولة العثمانية.

# الفصل الأول

## المنهاج التجريبي، نشأته وخصائصه
## (بيكون، جاليليو، باسكال)

### 1) بيكون «والارغانون الجديد»

عاش فرانسيس بيكون Francis Bacon (1561-1626) في بداية فترة التحول التي اشرنا اليها قبل، في عصر لم يتم فيه الانتقال بعد من القديم الى الجديد. فكان طبيعيا ان يحمل تفكيره بعض معطيات القديم الى جانب الجديد الذي جند نفسه للدعاية له والتبشير به: لقد هاجم طرق التفكير القديمة ولكنه لم يتحرر من ارث القرون الوسطى بكامله مما جعله يحمل بين طيات تفكيره وجهين متناقضين: وجه الداعية لمنهج جديد والمخطط له، ووجه المفكر الذي بقي يتحرك في اطار الآراء والمعلومات القديمة. ويهمنا هنا ان نلقي نظرة سريعة على الوجهين معا، علنا نتمكن من تقديم صورة نموذجية عن ذلك المنعطف الكبير الذي شهده الفكر الغربي في بداية النهضة العلمية الحديثة.

#### ١ - الهدف: السيطرة على الطبيعة

لم يكن بيكون يرمي الى انشاء فلسفة جديدة او تركيب نظام فلسفي معين، وانما كان **هدفه الاساسي «اصلاح اساليب التفكير وطرق البحث»**، لقد انتقد الفلاسفة السابقين من عقلانيين وتجريبيين: فالاولون كانوا كالعنكبوت الذي يبني منزله من داخله، والآخرون كانوا كالنمل الذي يجمع من الخارج زاده، في حين ان الفيلسوف الحق (والفيلسوف في هذا العصر يعني العالم ايضا) هو الذي يعمل كالنحلة التي تجمع الرحيق من الازهار لتصنع منه عسلا مصفى(1). ان على الفيلسوف ان يأخذ من الظواهر والحوادث، وبواسطة التجربة،

---

(1) ليس هذا التشبيه من ابتكار بيكون. فلقد قال به الفيلسوف اليوناني بلوطرخس Plutarque في القرن الاول للميلاد، وقام مونتاني بترويجه في القرن السادس عشر. هذا وقد اعتمدنا في عرض آراء فرانسيس بيكون على جملة مراجع: كتب تاريخ الفلسفة بالعربية والفرنسية، ثم الدراسات التي كتبت حول بيكون باللغتين العربية والفرنسية ونشير بكيفية خاصة الى كتاب اندري كريسون الذي يشتمل على نصوص مختارة لبيكون:
André Cresson: Francis Bacon. P.U.F. Paris 1956.

ما **يبني به العلم والفلسفة**، وبالدرجة الاولى العلم النافع، فالفلسفة القديمة انما فشلت - في رأي بيكون - لكونها كانت تهتم بالمعرفة لذاتها، ولان الشغل الشاغل للفلاسفة كان افحام خصومهم والعمل على التفوق عليهم في المناظرة والجدل، الشيء الذي جعل الفلسفة القديمة تبقى مجرد جدال عقيم، بالفاظ فارغة، في موضوعات شائكة لا حل لها. هذا في حين ان المهم هو ان «نعيش عيشة احسن: ونربي اولادنا تربية افضل، ونعمل على ضمان مصير بلادنا وسيادة الانسانية..» وهذا كله لا يتأتى الا **بالسيطرة على الطبيعة**.

**الهدف من المعرفة، اذن، هدف نفعي**. انه السيطرة على الطبيعة واخضاعها لاغراضنا العملية. ذلك هو الدرب الجديد الذي يجب ان تسير فيه الفلسفة والعلم. وهو درب يختلف كلية عن الدرب الذي وضع فيه فلاسفة اليونان وسار فيه «علماء» القرون الوسطى. لم تعد الفلسفة «محبة الحكمة»، ان مهمتها الآن السيطرة على الطبيعة لفائدة الانسان... ولكن كيف السبيل الى ذلك؟ ان تعبير الهدف يستلزم تغييرا في الوسيلة، ومن هنا نقطة البدء. يقول بيكون: «**لا يمكن السيطرة على الطبيعة الا بالخضوع لها، لا بالثورة ضدها. يجب ان نتعلم كيف نفهم الطبيعة، كيف نبحث عن نماذج الاشياء وصورها التي توجد فيها، عن خصائص هذه الاشياء، والميادين التي يجب ان تستعمل فيها. ان ذلك هو ما سيمكننا من توقع نتائج اعمالنا، وبالتالي التحكم في الضرورة التي تريد الطبيعة فرضها علينا... والقدرة التي تمكننا من ذلك تنبع من العلم والمعرفة.... ان ما يبدو سببا على صعيد التأمل النظري يصبح قاعدة في الميدان العملي**».

واذا اتضح الهدف وتقررت الوسيلة، فان الخطوة العملية الاولى التي يجب البدء بها هي القيام بكشف عام واحصاء واسع لصنوف المعرفة البشرية قصد التعرف على ما تم انجازه حتى لا نضيع الوقت والمجهود في البحث عنه من جديد، وعلى ما لم يتم اكتشافه بعد، حتى نجد في البحث والتنقيب قصد جلائه واقراره.... علينا اذن، ان نبدأ بتنظيم المعرفة البشرية وتصنيف انواعها، ان ذلك سيساعدنا على فرض النظام في الفكر واساليب البحث.

### ب - تصنيف العلوم:

كيف يمكن تصنيف العلوم والمعارف التي يتوفر عليها الانسان، وهي كثيرة متراكمة متداخلة؟ ليس في الامر كبير صعوبة بالنسبة لبيكون: فالعلوم من انتاج الفكر. والفكر البشري يتألف من ثلاث ملكات او قدرات: الذاكرة والمخيلة والعقل.

الذاكرة تحفظ ما الفناه وعرفناه. والمخيلة تنسج بواسطة ما تحفظه الذاكرة افكارا جديدة، والعقل يتفحص هذه الافكار وينقدها. ومن هنا فالعلوم ثلاثة انواع: التاريخ وملكته الذاكرة، والآداب (الشعر) وملكتها المخيلة، والفلسفة وملكتها العقل. وكل نوع من هذه الانواع الثلاثة ينقسم الى أقسام تختلف باختلاف الموضوعات:

-فالتاريخ قسمان: مدني خاص بالانسان، وطبيعي خاص بالطبيعة، والمدني نوعان: تاريخ كنسي، وتاريخ مدني بمعنى الكلمة. اما الطبيعي فثلاثة انواع: نوع يهتم بوصف الظواهر السماوية والارضية، ونوع يهتم بالمسوخ، وهي تكشف عن القوى الخفية، ونوع ثالث يهتم بالفنون التي هي وسائل الانسان لتغيير الطبيعة. واذا نحن تصفحنا انواع التاريخ الموجودة - يقول بيكون- تبين لنا ان الصنف الاول هو وحده القائم الان، اما الصنفان الاخران، الثاني والثالث، فلم يوجدا بعد.

- أما الآداب فهي اربعة انواع، قصصية، ووصفية، وتمثيلية، ورمزية. (والمقصود بهذه الاخيرة تأويل القصص والاساطير لاستخلاص ما تنطوي عليه رموزها ومشاهدها من معان ومغاز، وهذا شيء كان شائعا في عصر النهضة).

- وأما الفلسفة وموضوعاتها: الطبيعة والانسان والله، فهي ثلاثة اصناف: فلسفة الطبيعة وهي قسمان: ما بعد الطبيعة من جهة، والطبيعة من جهة اخرى، وهذه تشتمل على الميكانيكا والسحر. اما الصنف الثاني من اصناف الفلسفة والذي موضوعه الانسان فهو اقسام: ما يخص الجسم، وما يخص النفس، وما يتعلق بالعقل والمنطق، وما موضوعه الارادة والاخلاق. يبقى بعد ذلك الصنف الثالث وهو الفلسفة الالاهية وهي معروفة.

هذا التصنيف للعلوم والمعارف معقول جدا، في نظر بيكون، فعلاوة على انه مبني على الملكات الثلاث التي يتألف منها الفكر البشري، كما اوضحنا ذلك قبل، فهو يعبر ايضا عن مراحل في العمل العقلي، طبيعية تماما، فالتاريخ تجميع للمواد، والشعر تنظيم لها، والفلسفة تقوم بتركيبها تركيبا عقليا.

لقد أطنب بيكون في تفصيل هذا التصنيف، مدليا بكثير من المعلومات (القديمة) والافتراضات والموضوعات حول هذه العلوم، لينتهي الى القول اخيرا بأن تمحيص هذه العلوم والمعارف التمحيص المطلوب مهمة شاقة. فالمشروع ضخم، ولا بد من تضافر الجهود لانجازه.

## ج - العوائق والاوهام.

ومع ذلك، هناك مهمة مستعجلة لا بد من تدشين العمل فيها، وهي القضاء على الموانع والعوائق التي حالت دون قيام العلوم من قبل، منظمة مصنفة على هذا الشكل، والسبيل الى ذلك - فيما يرى بيكون - هي البدء **بتطهير العقل من الاوهام**. فالعقل مرآة، والمرآة لا تقوم بوظيفتها كاملة الا اذا توافرت ثلاثة شروط، أولها: صقلها صقلا تاما حتى تزول منها جميع اللطخات والاوساخ. وثانيها: توجيهها توجيها مناسبا نحو النور. وثالثها: وضع الشيء الذي نريد رؤيته فيها، في المكان الملائم الذي يسمح بظهوره كاملا فيها.

هذه الشروط نفسها تنطبق على العقل. واذن فالشرط الاول يعني تطهير العقل من الاوهام. والاوهام السائدة اربعة اصناف: «**أوهام القبيلة**»، وهي مشتركة بين الناس،

والمقصود بها هو ميلهم جميعا الى التعميم وفرض النظام والاضطراد في الطبيعة. و «**اوهام الكهف**» وهي خاصة بالانسان الفرد، وتتمثل في ميل الافراد الى النظر الى الطبيعة كل من وجهة نظره الخاصة، ومن كهفه الخاص. و «**اوهام السوق**» وتتمثل في طغيان الالفاظ والمناقشات اللفظية كما يحدث في السوق حيث يكثر اللغط والكلام الفارغ المشوش. واخيرا «**أوهام المسرح**» والمقصود بها سيطرة القدماء ونفوذهم، مثلما تسيطر شخصيات الممثلين في المسرح على المتفرجين.

هذا الشرط وحده لا يكفي. لا بد، بعد تطهير العقل، من تحديد الهدف الذي يجب ان يسعى اليه، اي لا بد من توجيه مرآة العقل المصقولة توجيها ملائما، وهو توجيه يجب ان يتم على ثلاث مراحل او لحظات: 1) **تحديد الصور الحقيقية للطبيعة** (اي الكيفيات التي تتجلى فيها). فبالنسبة للحرارة مثلا، يجب البحث في آثارها وقوانينها، لا في جوهرها كما كان يفعل القدماء من قبل، لان الحرارة لا جوهر لها. 2) **البحث فيما يحدث للجسم عندما يتحرك او يتحول**، اي في مختلف التغيرات التي تلحقه، كالبحث في تحول الماء الى بخار بواسطة الحرارة. 3) **البحث في تركيب الجسم الساكن لمعرفة ما يقبل من الصور والكيفيات**، فالماء مثلا لا يقبل صورة التمثال، وانما يقبلها الرخام.

واذا فعلنا هذا وذاك، صار في امكاننا الحصول على رؤية واضحة للمسائل التي نريد دراستها، ولكن شريطة وضع الشيء في مكانه حتى يبدو في المرآة بتمامه. وذلك هو الشرط الثالث، وهو يتعلق بسلسلة الاحتياطات والخطوات التي لا بد من التقيد بها عند البحث والدراسة. ومن هنا جداول بيكون المعروفة، وهي ثلاثة: **جدول الحضور** وتسجل فيه التجارب التي تظهر فيها الكيفية المطلوبة (اي الظاهرة او القانون موضوع البحث). **وجدول الغياب**، وتسجل فيه التجارب التي لا تبدو فيها الكيفية المطلوبة، واخيرا **جدول المقارنة** (او جدول الدرجات) وتسجل فيه التجارب التي تتغير فيها الكيفية **المدروسة**.

## د - الاستقراء والتجربة الحاسمة

وعندما نحصل على هذه الجداول الثلاثة يصبح في امكاننا القيام بـ «استقراء مشروع»، وهو عملية تتم من خلال لحظتين: **لحظة العزل او الاستبعاد**، وهي مرحلة سلبية يجب ان تراعى فيها القواعد الثلاث التالية التي تؤسس الجداول المذكورة: 1) عندما يحضر السبب تحضر النتيجة. ب) عندما يغيب السبب تغيب النتيجة. ج) عندما يتغير السبب تتغير النتيجة. اما اللحظة الثانية، فهي **التأكيد الايجابي** للصورة وهنا لا بد من سلسلة من الاحتياطات تتمثل في الخطوات التسع التالية: 1) تنويع التجربة بتغيير المواد وكمياتها وخصائصها. 2) تكرار التجربة باجراء تجارب جديدة على نتائج التجارب السابقة. 3) مد التجربة، اي اجراء تجارب جديدة على مثال التجارب السابقة مع تعديل المواد. 4) نقل التجربة من الطبيعة الى الصناعة والفن. 5) قلب التجربة كأن نعمل مثلا على التأكد مما اذا كانت البرودة تنتشر من اعلى الى أسفل بعد ان عرفنا ان الحرارة تتجه

من اسفل الى اعلى . 6) الغاء التجربة، اي ابعاد الكيفية التي يراد دراستها، من ذلك اننا اذا كنا ندرس المغناطيس مثلا فيجب ان نبحث عن وسط لا يجذب فيه المغناطيس. 7) تطبيق التجربة، كتعيين مدى نفاذ الهواء، مثلاً، في اماكن مختلفة 8) جمع التجارب، وذلك بالزيادة في فاعلية مادة ما بالجمع بينها وبين مادة اخرى. 9) اعتبار الصدفة في التجربة، بمعنى ان التجربة يجب ان تجرى، لا لتحقيق فكرة مسبقة، بل يجب ان تترك الصدفة تكشف لنا عن معطيات جديدة.

ذلك هو «الاستقراء المشروع» في نظر بيكون، وتلك هي شروطه وعناصره. ويلح بيكون على ضرورة الاهتمام، خلال مراحل الاستقراء، بالحوادث الاساسيةللوقوف، بكيفية خاصة، على التجربة الحاسمة، Expérience cruciale ذلك لان التجربة الحاسمة، او الفاصلة؛ هي بمثابة العلامة التي توضع على مفترق الطرق لتوجيه المسافر الى الجهة التي تؤدي به الى مقصوده. فعندما يكون الباحث المجرب امام حلول محتملة لمسألة ما، فان التجربة الحاسمة هي تلك التي تفصل في الامر، وتدل على الحل المطلوب. ويمثل بيكون لذلك بظاهرة سقوط الاجسام، التي يمكن ان تكون خاصية ذاتية (داخلية) للاجسام، كما يمكن ان تكون راجعة الى كون الارض هي التي تجذبها. فاذا قلنا بالاحتمال الثاني نتج عن ذلك ان الاجسام سيضعف انجذابها الى سطح الارض بابتعادها عنه. وهكذا فاذا استطعنا ان نثبت هذا بالتجربة حسمنا في الامر. ويمكن القيام بهذه التجربة الحاسمة - كما يقول بيكون - بوضع ساعة تعمل بالثقل في اعلى الصومعة مرة وفي اسفلها مرة اخرى. فاذا لاحظنا انها تتحرك ببطء في اعلى الصومعة منها في اسفلها كان ذلك دليلا على ان سقوط الاجسام راجع الى جاذبية الارض، لا الى خاصية ذاتية في الاجسام نفسها.

وبالجملة فان المقصود بالاستقراء واجراء التجارب هو الحصول الى التجربة الحاسمة، فهي وحدها التي تفصل في الامر، وتفرض نوع الحل الذي يجب الاخذ به.

* * *

تلك كانت بالاجمال الخطوط الرئيسية «للمنهج الجديد» الذي دعا اليه فرانسيس بيكون وبشر به. فما هو الجديد فعلا في هذه الآراء والافكار التي نادى بها هذا المفكر الانجليزي الذي يعتبر من الرواد الاوائل للتجريبية الانجليزية؟.

بوسعنا ان نسجل في هذا الصدد، عدة ملاحظات:

1- ان ابراز اهمية التجربة والدعوة الى اصطناعها في البحث في ظواهر الطبيعة وانتقاد طرق القدماء وفلسفاتهم..كل ذلك كان سائدا في عصر بيكون وقبله، بل يمكن تتبع ذلك بالرجوع القهقرى الى حركة النهضة التي عرفتها اوروبا في القرنين الثاني عشر والثالث عشر بتأثير الاحتكاك مع العرب والاقتباس من الحضارة العربية.

وقد تكفي هنا الاشارة الى مفكر وفنان ايطالي عاش قبل بيكون بما يزيد على قرن

من الزمن هو ليوناردو دافينشي (1452-1519) الذي اشاد بالتجربة واهميتها في اكتساب المعرفة. قال: «ان من يعتمد على سلطة الآخرين يجهد، لا فكره، وانما ذاكرته»، وقوله هذا يذكرنا بما دعاه بيكون بـ «اوهام المسرح». ثم يناقش الفلاسفة الذين يعلون من شأن العقل ويحطون من شأن التجربة: «يقولون ان تلك المعرفة التي تنبثق من الاختبار هي معرفة آلية، وان المعرفة التي تولد في العقل وتنتهي اليه هي معرفة علمية. على أنه يبدو لي أن تلك العلوم التي لا تتولد من التجربة - وهي ام اليقين - والتي لا تنتهي في الملاحظة، اي تلك العلوم التي لا تمر في منبعها او سياقها المتوسط او في نهايتها باحدى الحواس الخمس هي علوم باطلة وطافحة بالاخطاء»، «ان علي ان اقوم بالتجربة قبل ان أتقدم في البحث، لان غايتي هي ان أقدم الحقائق أولا، ثم أقيم البرهان بواسطة العقل على ان التجريب مرغم على ان يتبع هذه الطريقة المعينة. وهذه هي القاعدة الصحيحة التي يجب على الباحثين في ظواهر الطبيعة اتباعها. وبينما نرى أن الطبيعة تبتدىء من العلل وتنتهي في التجريب علينا ان نتبع طريقا معاكسة فنبتدىء من التجريب، ثم نكتشف بواسطته العلل». وأكثر من ذلك أدرك ليوناردو دافينشي اهمية استعمال الرياضيات في البحث في الطبيعة، الشيء الذي أغفله بيكون، فهو يرى ان طريق المعرفة الصحيحة يجب ان يكون طريقا رياضية «اذ لا يمكن ان نسمي اي بحث بالعلم الصحيح الا اذا اتبع طرق البراهين الرياضية».

2- لقد بنى بيكون منهجه «التجريبي» على مجرد التأمل والتفكير، لا على الممارسة العملية للبحث العلمي. ان بيكون لم يكن مجربا، ولا باحثا مكتشفا، بل ربما كان متأخرا عن علوم عصره، جاهلا بالاكتشافات العلمية الرائدة. وهذا نقص كبير، ما في ذلك شك. ولكن العيب الكبير في تفكير بيكون هو انه تصور منهجه كآلة، او «ارغانون جديد» Novun Organun يعلو على العقل ويفرض نفسه عليه من الخارج. يقول في هذا الصدد: فكما ان البيكار يرسم الدائرة دونما حاجة الى يد ماهرة، فكذلك منهجي. إنه يجعل العقول متساوية في الكشف عن الحقيقة، ويقلل من شأن الفروق الفردية الراجعة الى العبقرية. هذا بالاضافة الى انه فهم التجربة بالمعنى القديم، اي على انها التجربة الحسية، وهي غير التجربة العلمية - كما سنرى بعد - ولذلك بقي استقراؤه استقراء ارسطيا لا يرقى الى مستوى التحليل.

3- اما تصنيفه للعلوم على اساس الملكات الثلاث فتصنيف واه لا يصمد لأقل نقد. فليس صحيحا، مثلا، ان التاريخ من عمل الذاكرة وحدها، بل لا بد فيه من العقل والمخيلة. وكذلك الشأن بالنسبة للبحث في الطبيعة، فهو لا يعتمد العقل وحده، فللمخيلة دور عظيم في الكشف العلمي. اضف الى ذلك تقليله من شأن الرياضيات التي جعلها فرعا لعلم الطبيعة، وادراجه السحر والمسوخ والميتافيزيقا في لائحة العلوم....

كل ذلك يبرز ما سبق ان قلناه من ان بيكون لم يطبق منهجه ولم يتحرر من القديم جملة، بل بقيت صلته به قوية متينة. انه على الرغم من انتقاده للفلاسفة القدماء -

ارسطو وعلماء القرون الوسطى - فلقد بقي عقله ارسطو طاليسيا بعيدا جدا عن عقل جاليلو وعقل ديكارت. وتلك ملاحظة تصدق على جميع اولئك الذين حملوا على العلم الارسطي من مفكري القرون الوسطى وأوائل عصر النهضة بما فيهم ليوناردو دافينشي وبيكون وغيرهما من معاصريهما وممن سبقوهما. يقول جون هارمان راندل: «والحقيقة انه كلما توسعت دراسات تاريخ الفكر في أواخر القرون الوسطى وعصر النهضة كلما اتضح ان أكثر الابتعادات الجريئة عن العلم الارسطي انما تمت داخل الاطار الارسطي ذاته، بالاعتماد على تفكير نقدي في المذاهب الارسطية، مهما تنوعت مصادر الافكار التي غذت ذلك النقد»(2).

ولكن، مع ذلك، هناك ثلاثة عناصر مهمة، ربما تميزه عن سابقيه وتربطه بلاحقيه، ابرزها في مؤلفاته والح عليها الحاحا كبيرا. وهذه العناصر الايجابية في تفكيره، هي:

**1- الحاحه على عدم التسرع في استخلاص النتائج من الملاحظة والتجربة.** فعلاوة على سلسلة الاحتياطات والخطوات التي يرى انه لا بد منها في عملية الاستقراء، سواء في لحظة العزل او في لحظة الاثبات للكيفية المدروسة، فلقد كان واعيا كل الوعي بأهمية السير تدريجيا وبخطى ثابتة متثاقلة في البحث العلمي. يقول: هناك طريقان للكشف عن الحقيقة: طريق يقفز بصاحبه من الحوادث الجزئية الى المبادىء العامة، من الظواهر الى الاسباب التي يستنتج منها «القوانين الوسطى»، والاسباب الطبيعية (وتلك هي طريقة القياس الارسطي). وطريق آخر يسير فيه صاحبه ببطء واحتياط من الاحساسات والظواهر، ولا يصل الى القوانين العامة الا بعد تدرج وطول نفس. الطريق الاول لا يقف عند التجربة، بل يمر عليها مر الكرام، اما الثاني فيقف عندها طويلا (كما بينا قبل في الخطوات التسع)، وهذا هو الطريق المطلوب، الطريق الذي يكبح جماح العقل المتسرع حتى يسير بأناة وصبر من القوانين الابتدائية التي تفسر جملة من الظواهر الى القوانين الوسطى التي تتناول عدداً اكبر من الظواهر والحوادث، واخيرا الى القوانين العامة المجردة التي تعبر عن المبادىء والاسباب القصوى. ومن الضروري تعويد العقل على هذا السير التدريجي الرصين. «فالعقل لا يحتاج الى اجنحة، بل الى اثقاله بالرصاص».

**2- الحاحه على اهمية لحظة العزل وتنويع التجربة.** فالاستقراء الحقيقي ليس مجرد تعداد الظواهر، مهما كثرت، وهو لا يفيد اذا كان كذلك. ان الاستقراء القائم على مجرد العد، استقراء صبياني كما يقول بيكون. فلا بد من لحظتي العزل والاثبات، مع اعطاء الاهمية القصوى للحظة الاولى.

**3- اشادته بما اسماه «التجربة الحاسمة»**، وهي التجربة التي تمكن الباحث من

---

(2) جون هارمان راندل: تكوين العقل الحديث. ترجمة د. جورج طعمة. دار الثقافة بيروت 1955. ص.325.

ترجيح فرض على آخر، والتي سيكون لها شأن كبير في التفكير العلمي كما سنرى بعد.

تلك هي العناصر الايجابية في تفكير فرانسيس بيكون بالمقارنة مع المنهاج التجريبي كما سيطبق بعده، وهي عناصر بالغة الاهمية اذا عزلناها عن باقي العناصر الاخرى التي يزخر بها تفكيره والتي تشده الى القديم شدا. ولكنها تظل ضعيفة مغمورة اذا ما نظرنا اليها من خلال مجمل تفكيره، الشيء الذي يؤكد ما قلناه من قبل، من ان بيكون لم يقطع مع القديم، بل لقد ظل يتحرك في اطاره ويفكر بمعطياته. ولذلك يجب ان لا نبالغ في تقدير اهميته، وان لا نربط نشوء العلم الحديث بمنهاجه.

## 2) جاليلو وميلاد الفكر العلمي الحديث

### أ - ملامح من شخصية الرجل.

اذا كان بيكون قد بقي مشدودا الى الفكر القديم رغم ثورته عليه وانتقاده لاساليبه في البحث والعمل، فان العالم الايطالي المشهور جاليلو Galillé (1564-1642) هو أول من قطع الصلة بالفكر القديم، وتخلى عن مفاهيمه واسسه وأساليبه، مدشنا طريقة جديدة في البحث تقوم على نظرة جديدة للطبيعة، نظرة علمية حقا.

لقد أسس جاليلو العلم الفيزيائي فأرسى دعائم منهاجه (المنهاج التجريبي)، ودشن البحث في أهم فروعه التقليدية (الديناميك (أو علم الحركة)، الحرارة، المكبر.. الخ) وأسهم مساهمة كبرى في قيام الميكانيكا النظرية، علاوة على كشوفه الفلكية.

كانت نظرته الى الكون نظرة مادية، فالعالم مادة وحركة، والحركة خاضعة لقانون العطالة (او القصور الذاتي) Loi de l'inertie لقد أوضح، بالتجارب، (و الغالب ما كانت تجاربه ذهنية كما سنرى)، ان الحركة تسير بنفس السرعة وفي نفس الاتجاه (سرعة مستقيمة ومنتظمة) ما لم يكن هناك ما يزيد فيها او ينقص منها او يغير من اتجاهها. فحدد وضبط، هكذا، قوانين سقوط الاجسام وحركات البندول. ليس هذا وحسب، بل لقد كانت نظرته المادية، العلمية، هذه تشمل السماء ايضا. لقد اكد بقوة مادية الاجرام السماوية (التي كان العلم القديم يعتبرها كائنات لا مادية، عقولا او نفوسا). ونظر الى حركتها بوصفها لا تختلف في شيء عن الحركة التي تعتري الاجسام في الارض، فقضى بذلك على التصور القديم الذي كان يقسم الكون الى قسمين: العالم العلوي السماوي، عالم الخلود والوجود الدائم الكامل، والعالم السفلي، عالم الارض، عالم «الكون والفساد».

وحينما كان جاليلو يستنتج من تجاربه على سقوط الاجسام قوانين حركة الاجسام على الارض، كان كبلر Kipler (1571-1630)يستخلص من ملاحظاته الفلكية قوانين حركة الاجرام السماوية. وكان كوبرنيك Copernic (1473-1543) قد برهن من قبل على ان الشمس، لا الارض، هي مركز الكون، وهي فكرة زعزعت التصورات القديمة واحدثت ردود فعل قوية (الثورة الكوبرنيكية). وقد ناصر جاليلو نظرية كوبرنيك، بل انه«اثبتها

تجريبيا. وخرج بها من حيز الرياضيات الى حيز الوجود الطبيعي »، وذلك بفضل ملاحظاته وكشوفه الفلكية. فلقد راقب الاجرام السماوية بواسطة تلسكوب (مكبر) صنعه بنفسه عام 1605، وكان يكبر ثلاث مرات، فاكتشف بواسطته عددا من النجوم التي لم تكن ترى بالعين المجردة وشاهد هضاب القمر ووديانه، واكتشف اقمار المشتري الاربعة وضبط حركتها، ورأى كلف الشمس (البقع السوداء التي تظهر على قرصها) واستنتج منها ومن حركتها على سطح الشمس ان الشمس تدور حول نفسها، الى غير ذلك من الملاحظات العلمية التي ساهمت مساهمة كبرى في بناء العلوم الحديثة وتغيير نظرة الناس إلى الكون والطبيعة.

غير أن ما هو أهم من هذا كله تدشينه لطريقة جديدة في البحث، هي الطريقة التي ندعوها اليوم بـ« المنهاج التجريبي ». لقد أدرك جاليلو اهمية تطبيق الرياضيات على البحث في ظواهر الطبيعة فجعل منها العمود الفقري لكل بحث علمي حقيقي. يتجلى ذلك، ليس فقط من خلال ابحاثه وتجاربه وقوانينه التى حرص على التعبير عنها تعبيرا رياضيا، بل أيضا من ادراكه الواعي لاهمية الرياضيات، وتصريحه، في عبارات مشهورة بأنها اي الرياضيات، هي المفتاح الذي يحل الغاز الطبيعة. لقد كتب يقول: « يجب أن يكتب على غلاف مجموعة مؤلفاتي ما يلي: سيدرك القارىء بواسطة عدد لا يحصى من الامثلة، اهمية الرياضيات وفائدتها في الوصول الى أحكام في العلوم الطبيعية. وسيدرك ايضا ان الفلسفة الصحيحة (اي العلم الطبيعي) مستحيلة بدون الاسترشاد بالهندسة ». ويقول ايضا: « ان كتاب الفلسفة هو ذلك المفتوح دوما امام أعيننا (اي الطبيعة)، ولكن بما انه مكتوب بحروف غير حروفنا الهجائية، فلا يمكن ان يقرأه كل الناس. ان الحروف التي كتب بها هذا الكتاب ليست شيئا آخر غير المثلثات والمربعات والدوائر والكرات والمخاريط وغير ذلك من الاشكال الهندسية التي تمكن من قراءته ». ذلك لان الله كما يقول الكتاب المقدس « صنع جميع الاشياء من عدد ووزن وقياس ».

ان تمكن جاليلو من اكتشاف عدة حقائق علمية جديدة، وفي اطار من التفكير جديد، وادراكه الواعي لاهمية الرياضيات في ضبط قوانين الطبيعة جعله يعي تمام الوعي انه بصدد ارساء اسس علم جديد لم يسبق ان دشن البحث فيه احد من قبل بهذا الشكل، علم سيعرف تقدما كبيرا كما حدس جاليلو ذلك بنفسه، يقول: « غايتي ان اضع علما بالغا في الجدة، يعالج موضوعا بالغا في القدم. وقد لا يكون في الطبيعة ما هو اقدم من الحركة، التي وضع الفلاسفة فيها كتبا ليست قليلة ولا صغيرة. ومع ذلك فقد اكتشفت بواسطة التجربة خصائص لها تجدر معرفتها، لم يسبق لاحد ان لاحظها او اقام الدليل عليها. لقد وردت بعض الملاحظات السطحية كالقول مثلا بأن الحركة الحرة لجسم ثقيل ساقط يزداد تسارعها باستمرار، ولكن هذه الملاحظات لم تستمر الى المدى الدقيق الذي به يتم هذا التسارع. والسبب انه لم يصل الى علمي أن واحداً من الباحثين اشار إلى أن نسب

المسافات التي يقطعها جسم ساقط في فترات متساوية من الزمن لبعضها البعض - ابتداء من نقطة سقوطه - هي كنسب الاعداد الفردية التي تبتدىء بالوحدة العددية. لقد لوحظ أن القذائف والقنابل تتبع خطاً منحنياً، ومع ذلك لم يشر احد الى أن هذا الخط المنحني هو مخروطي الشكل. لكنني نجحت في اقامة الدليل على هذه الحقيقة وحقائق أخرى كثيرة ومهمة وان ما هو اكثر اهمية من ذلك انه فتحت امام هذا العلم الواسع - وليس عملي فيه سوى مجرد بداية - طرق ومجالات كثيرة سيستفيد منها علماء اقوى مني عقلا، وسيذهبون فيها الى ابعد نهايتها واعمق نواحيها. والنظريات التي سأناقشها بايجاز اذا ما تناولها باحثون آخرون، فستؤدي باستمرار الى معرفة جديدة مدهشة. وانه لمن المعقول ان تشمل معالجة قيمة كهذه جميع نواحي الطبيعة باتباع مثل هذه الطريقة »(3).

تلك باختصار بعض ملامح هذه الشخصية العلمية الفذة، شخصية جاليلو الرائد الاول للفكر العلمي الحديث. واذا نحن اردنا ان نلخص في عبارة واحدة الجديد الذي اتى به جاليلو والذي شكل اساس العلم الحديث. قلنا انه طريقته في التفكير ومنهجه في البحث. لقد اهتم جاليلو بالكشف عن **العلاقات التي تربط بين الظواهر**، الشيء الذي كان مهملا من قبل، وترك جانبا البحث عن «المبادىء» و«الاسباب» الميتافيزيقية التي استحوذت على الفكر القديم. وبذلك احدث جاليلو قطيعة ايبستيمولوجية - معرفية - بين الفكر الجديد والفكر القديم. قطيعة لم يعد من الممكن بعدها العودة الى أساليب التفكير القديمة والتصورات الارسطية الوسطوية التي كانت تشكل اساس العلم والمعرفة.

ولكي نلمس عن قرب هذا المنهاج الجديد الذي شيده جاليلو - المنهاج التجريبي - نرى من المفيد تتبع خطواته الفكرية في دراسة ظاهرة سقوط الاجسام، من مرحلة الملاحظة الى مرحلة القانون.

### ب - سقوط الاجسام بين التفسير الميتافيزيقي والبحث التجريبي

ظاهرة سقوط الاجسام ظاهرة عادية معروفة. وقد فسرها الفلاسفة القدماء تفسيرا ميتافيزيقياً احيائيا (ينسب الحياة الى اشياء الطبيعة)، على غرار ما فعلوا بالنسبة لظواهر طبيعية اخرى: فافلاطون، مثلا، يرى ان سقوط الاجسام على الارض، وعلى العموم انجذاب الاجسام بعضها الى بعض، يرجع الى قوة خفية كامنة في الاجسام نفسها، قوة تدفع الجسم الى نوع من «التعاطف» مع جسم آخر، تماما كما يميل الناس الى بعضهم (الذكر الى الانثى والصديق الى الصديق..). ونفس الشيء - تقريبا - قال به ارسطو، فقد فسر هذه الظاهرة بوجود قوة «طبيعية» تدفع الاجسام الى الانجذاب الى بعضها. فالسقوط او الانجذاب هما - في نظره - من «طبائع الاجسام» اي من خصائصها الذاتية. وقد تبنى

---

(3) جاليلو: «البراهين الرياضية لفرعين جديدين في العالم» وهو اهم كتبه. وقد اورد النص اعلاه راندل في المرجع المذكور سابقا، وعنه اخذناه.

ابن سينا والفلاسفة العرب هذه الفكرة، فقالوا «ان الاجسام تطلب مركز الارض». وعلى العموم لقد اهتم الفلاسفة والمفكرون القدماء بهذه الظاهرة، وجعلوا منها احد موضوعات «العلم الطبيعي»، ولكنهم كانوا، كما قال بيكون، يقفزون من الملاحظة الحسية الى «الاسباب العامة».

اما جاليلو فقد نهج منهجا آخر يختلف تماما عن هذا النوع من التفكير. لقد ركز اهتمامه على الظاهرة كما هي في الطبيعة، باحثا فيها وحدها، دارساً العلاقات المختلفة القائمة بين اجزائها، وبينها وبين ظواهر اخرى، معتمدا التجربة والاختبار العاميين، فتوصل هكذا الى صياغة قانون سقوط الاجسام كما يلي:

1 - تسقط جميع الاجسام في الفراغ بنفس السرعة مهما كان وزنها وطبيعتها.
2 - المسافة التي يقطعها الجسم الساقط متناسبة مع مربع الزمن الذي يستغرقه في السقوط.

فكيف توصل جاليلو الى هذا القانون، وما هي الخطوات المنهجية التي اتبعها في هذا الشأن؟ ذلك ما سنوضحه في الفقرات التالية معتمدين على مناقشة جاليلو نفسه لهذه الظاهرة(4).

## من الملاحظة والفرضية الى القانون:

لاحظ جاليلو، باديء ذي بدء، ان الاجسام لا تسقط بنفس السرعة، بل تتفاوت سرعة سقوطها باختلاف اوزانها (او ثقلها)، فالجسم الثقيل يسقط قبل الجسم الخفيف اذا اطلقا من ارتفاع واحد (كرة من الحديد وقطعة من القماش مثلا). ان هذه الملاحظة تحمل على الاعتقاد بأن اختلاف سرعة الاجسام الساقطة سببه اختلاف أوزانها. ولكن عندما ندقق في الامر وننوع التجربة يتضح لنا ان هناك عنصرا آخر أهملناه ولم ندخله في الحساب، وهو الوسط الذي يحدث فيه السقوط، اي الهواء بالنسبة للاجسام الساقطة على سطح الارض. افلا يكون لهذا الوسط تأثير على سرعة السقوط؟.

اننا لو درسنا ظاهرة سقوط الاجسام في وسط آخر، كالماء مثلا، للاحظنا ان سرعة السقوط تغيرت، مما يوحي بأن للوسط دورا أساسيا في الظاهرة. واذن، فهناك احتمالان: اولهما ان اختلاف سرعة الاجسام الساقطة يرجع الى اختلاف وزنها. وثانيهما ان هذا الاختلاف نفسه يعود الى مقاومة الوسط الذي يتم خلاله السقوط؟ فكيف سنفصل في الامر، اذن؟.

---

(4) اعتمدنا في عرضنا لمناقشة جاليلو لظاهرة سقوط الاجسام على المرجع التالي:
Galilée, Dialogue s des sciences nouvelles. Première journée: trad. P. H. Michel, dans: Galillée, Dialogues et lettreschoisies· -Paris, Herman 1966. P. 297-301 et 309.311.

هنا لا بد من تجربة حاسمة. اي لا بد من البحث عن وسط تتم فيه عملية السقوط هذه بشكل يرجح احد الاحتمالين على الآخر. اهتدى جاليلو الى اجراء التجربة على صحن مملوء بالزئبق لكونه اكثر كثافة من الماء. يقول فلو اننا وضعنا قطعا من الذهب والرصاص والمعادن الاخرى فوق سطح اناء مملوء بالزئبق، للاحظنا سقوط الذهب وحده الى قعر الاناء، وبقاء المعادن الاخرى فوق سطح الزئبق، علما بأن هذه القطع المعدنية بما فيها الذهب، تسقط كلها في الهواء بنفس السرعة. واذن، فان الفكرة التي ترجحها هذه التجربة هي ان سرعة الاجسام الساقطة تزداد تفاوتا، كلما كان الوسط الذي تسقط فيه اكثر مقاومة. (الزئبق اكثر مقاومة (او كثافة) من الماء، والماء اكثر مقاومة من الهواء...).

هذه هي النتيجة الاولى التي أدت اليها الفرضية التي انطلقنا منها، فرضية اعتبار مقاومة الوسط مسؤولة، كليا او جزئيا، عن اختلاف سرعة الاجسام الساقطة. والسؤال الذي يتبادر الى الذهن بوحي من هذه النتيجة هو: ترى ماذا سيحدث لو اننا تمكننا من ازالة مقاومة الوسط بالمرة؟ ان الاحتمال الذي ترجحه النتيجة السابقة هو ان الاجسام، في هذه الحالة، ستسقط كلها، مهما اختلف وزنها، في وقت واحد، وبسرعة واحدة. ان هذا مجرد فرض. انه فرض مرجح ما في ذلك شك. ولكنه يحتاج، كغيره من الفروض المماثلة، الى تجربة اخرى تؤكده. ان التجربة وحدها هي التي ستفصل فيما اذا كان هذا الفرض مجرد تخمين، او أنه فرض صحيح، اي قانون؟.

ان تحقيق هذا الفرض يتطلب اجراء التجربة في وسط خال من المقاومة تماما، اي في الفراغ! ولكن كيف السبيل الى ذلك والعصر، عصر جاليلو، لا يتوفر على الوسائل والتقنيات التي تمكن من اجراء التجارب في الفراغ! وأمام هذا العائق لجأ جاليلو الى «تجارب ذهنية» وأخذ يلتمس لهذا الفرض ما يؤيده من الملاحظات التي كان بوسعه القيام بها، مستعينا بالفكر والخيال، حريصا على تصيد الفروق الدقيقة.

هكذا لاحظ ان الاجسام الساقطة المختلفة الوزن، يتضاءل الفرق بين سرعة سقوطها، عندما يكون الوسط اقل مقاومة، وذلك الى درجة أن سرعة الاجسام الساقطة والمختلفة الوزن اختلافا كبيرا، تكاد تكون واحدة عندما تكون مقاومة الوسط شبه منعدمة. فلو اننا اخذنا، مثلا، كرة من الرصاص، ونفاخة جلدية في مثل حجمها، ولاحظنا الفرق الشاسع بين وزنيهما، وهو فرق قد يتعدى نسبة الواحدة الى الالف، ثم اعتمدنا تلك الفكرة القائلة ان سرعة السقوط راجعة اساسا الى وزن الجسم الساقط، لكانت النتيجة المنطقية هي ان كرة الرصاص ستسقط قبل النفاخة الجلدية بنسبة 999 الى واحد. وبعبارة اخرى فاذا قدرنا ان كرة الرصاص ستسقط في ثانية واحدة، لوجب ان تسقط النفاخة الجلدية، في مدة 999 ثانية لان النسبة بين وزنيهما هي كما قلنا كنسبة الواحد الى الالف. هذا ما يدل عليه التحليل المنطقي. ولكن التجربة لا تصدق هذه النتيجة. ان التجربة تشير الى ان الفرق بين سرعة سقوط كرة الرصاص وسرعة سقوط النفاخة الجلدية

لا يتعدى نسبة الواحد الى اثنين، على الرغم من ذلك التفاوت الهائل بين وزنيها. واذن فان سبب اختلاف سرعة سقوط الاجسام، ليس الوزن، او الثقل، بل مقاومة الوسط، الشيء الذي يسمح لنا باستنتاج: أن الاجسام الساقطة في الفراغ، حيث تنعدم تماما كل مقاومة، تسقط كلها بسرعة واحدة مهما اختلف وزنها وطبيعتها (القانون الاول).

## صنع الظاهرة وصياغتها رياضيا

لقد ركز جاليلو انتباهه، لحد الآن على ثلاثة عناصر في الظاهرة المدروسة: وزن الاجسام، اختلاف سرعتها، مقاومة الوسط. وعندما ادى به التحليل الى اكتشاف العنصر الاخير بوصفه مسؤولا عن حدوث السقوط، استطاع ان يحدد الظاهرة تحديدا اوليا، فصاغ القانون الاول، ان هذا التانون مهم، ولا شك، ولكنه سيظل ناقصا، سيظل قانونا وصفيا، ما لم يتم تحديد سرعة السقوط، اي ما لم تكتشف العلاقة الحسابية بين سرعة السقوط ومقاومة الوسط. ان صياغة هذه العلاقة صياغة كمية رياضية هي وحدها التي ستجعل من هذا القانون، قانونا بمعنى الكلمة، أي القانون الذي يمكن من التنبؤ سلفا بسرعة سقوط الجسم عبر مسافة معينة، فكيف السبيل الى تحديد هذه العلاقة وضبطها. وبعبارة اخرى كيف توصل جاليلو الى القانون الثاني؟.

عندما طرح جاليلو مسألة العلاقة بين سرعة السقوط ومقاومة الوسط خطا خطوة اخرى جديدة وأساسية فيتحليل الظاهرة التي نحن بصددها. لقد ادت بنا المرحلة السابقة من التحليل الى اكتشاف دور الوسط الذي يتم عبره السقوط. وذلك بفضل تنويع التجربة وباجرائها في الهواء والماء والزئبق، وبمقارنة كرة الرصاص مع النفاخة الجلدية. والآن يجب ان يتخذ تنويع التجربة شكلا آخر. من ذلك مثلا دراسة ظاهرة السقوط في وسط واحد، مع تنويع مسافات السقوط وبذلك سنكون قد انتقلنا الى مستوى آخر من التحليل، الشيء الذي سيطلعنا على حقائق جديدة.

لقد تبين، بالفعل، ان الاجسام الساقطة المختلفة الوزن تزداد سرعة سقوطها تفاوتا بتفاوت المسافة التي تقطعها: كلما ازدادت المسافة ازداد الاختلاف في سرعة السقوط. لماذا؟ ان ذلك لا يمكن ان يكون راجعا الى اختلاف وزن الاجسام، فلقد تأكد لدينا من قبل ان سرعة السقوط لا تتعلق بالثقل ولا بطبيعة الجسم. واذن، فلا يبقى الا ان تكون المسافة ذاتها هي سبب اختلاف سرعة السقوط من مسافات مختلفة. ولكن كيف يجوز ذلك، وكنا قد قررنا من قبل ان الاجسام تسقط دفعة واحدة في الفراغ؟ **ان الفرضية الجديدة التي علينا ان نقترحها يجب ان لا تتعارض مع الفرضية السابقة التي اصبحت قانونا. يجب ان تتوافق معها**، والا هدمنا ما بنيناه! واذا نحن امعنا النظر قليلا في هذه المسألة تبين لنا ان الامر كله يتوقف فعلا على اثبات ان الاجسام تسقط في الفراغ بسرعة واحدة رغم اختلاف المسافات. فكيف نتأدى الى اثبات مع عدم قدرتنا - في عصر جاليلو - على اجراء التجارب في الفراغ؟.

لنتابع البحث بالوسائل المتوفرة. ولنلاحظ ان الاجسام تتسارع عندما تسقط. (والتسارع Accelération معناه زيادة السرعة أو انخفاضها او تغيير اتجاهها). وبخصوص الظاهرة التي ندرسها يعني التسارع انه كلما طالت المسافة التي يقطعها الجسم الساقط، ازدادت سرعته، وهذا شيء تؤكده الملاحظة او التجربة. فالحجارة التي تسقط على رجل مار في الطريق، من الطابق الاول اقل خطرا عليه من الحجارة التي تأتيه من الطابق العاشر مثلا. ان وقع هذه اكبر وأخطر لانها تنزل عليه بسرعة اكبر. هذا من جهة، ومن جهة اخرى يمكننا ان نلاحظ ان الاجسام الثقيلة تسقط قبل الاجسام الخفيفة وان الفرق بين سرعة سقوط هذه وسرعة سقوط تلك بازدياد المسافة، فما السبب في ذلك؟.

ان الفكرة التي تخطر بالذهن، والتي توحي بها هذه الظاهرة، ظاهرة تأثير المسافة في سرعة سقوط الاجسام، هي ان التسارع يزيد من مقاومة الوسط من جهة، (فقطعة القماش التي تسقط من علو شاهق تتعرض لمقاومة الهواء مما يجعل سرعتها تتناقص)، ولكنه اي التسارع يعمل من جهة اخرى على انفتاح الوسط امام الجسم بسرعة اكبر كلما كان الجسم اكثر ثقلا (قطعة الحديد التي تسقط من علو شاهق ينفتح لها الهواء بسرعة فتزداد سرعتها وذلك بفضل ثقلها في الهواء).

هنا، اذن، يلعب ثقل الجسم دورا اساسيا: ان الجسم الثقيل يجبر الوسط على الانفتاح بسرعة، اما الجسم الخفيف فلا يفعل ذلك بنفس الدرجة. وهذا يعني ان قوة التسارع تعادل، او تكاد، ازدياد مقاومة الوسط عندما يكون الجسم ثقيلا، مما يجعله يسقط وكأنه يسير بسرعة منتظمة (غير متسارعة). أما الجسم الخفيف فهو لا يقتحم الوسط بنفس القوة، نظرا لخفته، اي لضآلة ضغطه على الوسط، الشيء الذي يعرقل سرعته، وذلك الى درجة ان الاجسام الخفيفة جدا قد تظل معلقة في الهواء - كالريش مثلا - اذا كانت مسافة السقوط كبيرة.

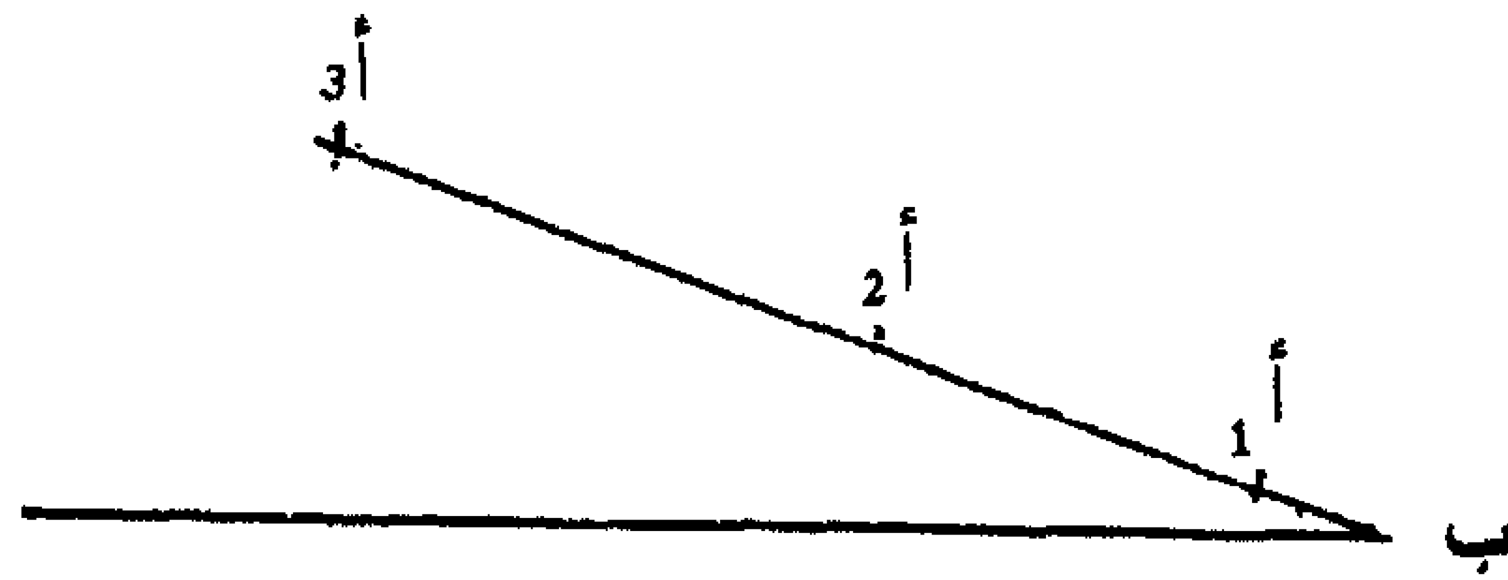
والنتيجة هي ان اختلاف مسافة السقوط يؤدي الى اختلاف سرعة الاجسام الساقطة. بمعنى ان الزمن الذي يستغرقه الجسم في السقوط يتعلق بالمسافة.

كل ما تقدم كان عبارة عن محاكمات عقلية او «تجارب ذهنية». فعلاوة على استحالة اجراء التجارب في الفراغ - في عصر جاليلو - كان من المستحيل ايضا في ذلك الوقت ضبط سرعة الاجسام الساقطة من مسافات كبيرة. فكيف تمكن جاليلو، مع ذلك، من ضبط صحة هذه الفروض والاستنتاجات وصياغتها في شكل قانون رياضي؟.

هنا، وفي مثل هذه الاحوال لا بد من صنع **الحادثة**. فالطبيعة لا تقدم لنا الظواهر كما نريدها. ولذلك كان **الحادث العلمي حادثا مخبريا، حادثا نموذجيا مصنوعا، لا يوجد في الطبيعة بكل صفائه ونقاوته**. عمد جاليلو الى صنع الظاهرة بشكل يمكنه من التغلب على الصعوبات المذكورة آنفا ومراقبة نتائج السقوط سواء تعلق الامر بالاجسام الثقيلة او

بالاجسام الخفيفة، وسواء كانت مسافة السقوط طويلة او كانت قصيرة. واكثر من ذلك فان صنع الظاهرة يمكننا من حساب زمن السقوط بدقة. ان ادخال عنصر الزمن هنا، بوصفه عاملا أساسيا تتغير بتغيره العناصر الاخرى في الظاهرة (وهذا ما يسمى في اللغة العلمية المعاصرة بالمتغير الوسيطي Paramètre)، شيء ضروري وأساسي، لضبط الظاهرة ضبطا دقيقا.

فكر جاليلو في الامر، واهتدى الى تجربته المشهورة المعروفة بـ «تجربة السطح المائل». لقد صنع جاليلو سطحا مائلا كما في الشكل الهدف منه دراسة ظاهرة سقوط الاجسام بشكل يسمح بتخفيض سرعة الجسم الساقط الى ادنى حد ممكن. اذ كلما كان السطح أقل ميلا كانت حركة الجسم الساقط عليه أقل سرعة.




أخذ جاليلو كرة حديدية صغيرة، وجعل يسقطها على هذا السطح المائل، باحثا فيه عن النقط التي اذا وضع فيها الكرة الحديدية استغرق سقوطها، على التوالي، ثانية واحدة، ثم ثانيتين، ثم ثلاث ثوان. وبعد تكرار المحاولة استطاع ان يحدد النقاط المذكورة كما يلي، على التوالي: أ$_1$، أ$_2$، أ$_3$. ثم اخذ يقيس المسافات التي تفصل هذه النقاط عن نقطة السقوط (نقطة ب) فوجد انه عندما تكون المسافة أ$_1$ب (أي عندما يكون زمن السقوط ثانية واحدة) تساوي 20 سم، مثلا تكون المسافة أ$_2$ ب (زمن السقوط ثانيتان) تساوي 80 سم، والمسافة أ$_3$ب (زمن السقوط ثلاث ثوان) تساوي 180 سم.

يمكننا ان نكتب النتائج كما يلي:

أ$_1$ ب $= 20 = 1 \times 20 = 1^2 \times 20$

أ$_2$ ب $= 80 = 4 \times 20 = 2^2 \times 20$

أ$_3$ ب $= 180 = 9 \times 20 = 3^2 \times 20$

لقد حولنا الظاهرة، الآن، الى علاقات رياضية، وبعبارة اخرى، الى بنية رياضية، وغدا في امكاننا دراسة هذه البنية (او العلاقات) بصرف النظر تماما عن المعطيات التجريبية التي كنا نتحدث عنها قبل (ثقل الاجسام، اختلاف سرعة السقوط، مقاومة الوسط، اختلاف المسافة...) ان هذه المعادلات الرياضية تبين لنا بوضوح انه اذا افترضنا

ان الجسم الساقط يقطع في ثانية واحدة مسافة م (في المثال السابق 20 سم) فانه يقطع في ثانيتين مسافة م × $2^2$، وفي ثلاث ثوان مسافة م × $3^2$. وهذا يعني ان المسافة التي يقطعها الجسم الساقط متناسبة مع مربع الزمن الذي يستغرقه في السقوط (القانون الثاني). وهكذا اصبح في امكاننا الآن، ليس فقط ضبط ظاهرة السقوط، بل ايضا التنبؤ مسبقا بالزمن الذي يستغرقه السقوط عبر مسافات مختلفة اذا عرفنا مقدار الزمن الذي يستغرقه في السقوط عبر مسافة واحدة معينة.

* * *

تلك هي الخطوات المنهجية التي اتبعها جاليلو في تحليله لظاهرة سقوط الاجسام. واذا نحن اردنا تلخيص خط سير هذه الخطوات في عبارة واحدة، قلنا انها تتلخص في: **الانتقال من الملاحظة الكيفية** (ملاحظة انواع السقوط واختلاف السرعة) الى **الملاحظة الكمية** (العلاقة الحسابية بين مسافة السقوط وزمنه)، وهو الانتقال الذي يمكننا من **صياغة الظاهرة صياغة رياضية**، اي تحويلها الى **بنية رياضية**، الى **شبكة من العلاقات الجبرية**. وتلك خاصية اساسية جدا من خواص المنهاج التجريبي.

لنؤجل الآن الحديث عن خصائص المنهاج التجريبي، كما طبقه جاليلو وكما يتحدث عنه اليوم علم المناهج، ولنعرج، قبل ذلك، على بعض المناقشات التي رافقت نشوء هذا المنهاج وقيام التفكير العلمي جملة، والتي تعكس جانبا من جوانب ذلك الصراع الذي احتدم - ويحتدم دوما - بين القديم والجديد، كلما كان الامر يتعلق باجتياز مرحلة حاسمة من مراحل التطور. ان هذا النقاش سيغني الملاحظات التي سجلناها سابقا، وسيمدنا في ذات الوقت بفكرة واضحة عن الصعوبات - أو العوائق الايبستيمولوجية - التي تعترض الناس عند محاولتهم الانتقال من البنية الفكرية العامة التي اندمجوا فيها وتأطروا بها الى بنية فكرية جديدة تماما. كما أن هذا النقاش سيجعلنا ندرك بعمق اكثر مدى تحرر جاليلو، دفعة واحدة، من سيطرة المفاهيم وطرق البحث القديمة التي لم يتحرر منها العلماء الذين جاؤوا بعده الا نسبيا، وبعد فترة طويلة، مما يعطي للقطيعة الايبستيمولوجية التي أحدثها مع الفكر القديم والمعاصر له، ابعادها الحقيقية العميقة.

## 3) من مظاهر الصراع بين القديم والحديث: ارتفاع السوائل ومشكلة الخلاء

لم ينشأ المنهاج التجريبي كما حللناه من خلال مثال سقوط الاجسام دفعة واحدة، ولم تكن الروح العلمية الجديدة التي ارتكز عليها لتسود وتنتشر دون مناقشة او معارضة. بل لقد واكب هذا المنهاج، في نشأته وتطوره، العلم الحديث في قيامه ونموه ونضجه. فكما اصطدمت الآراء والافكار الجديدة التي اسست عصر النهضة في اوروبا بالفكر القديم والوسيط في ميدان الفلسفة واللاهوت والآداب والفن، اصطدم التفكير العلمي بمفاهيمه الجديدة وطريقته التجريبية بالمفاهيم والطرق القديمة التي ظلت سائدة في العالم المتحضر

منذ افلاطون وأرسطو. لقد كانت نظرة الفلاسفة اليونان «وعلماء» القرون الوسطى الى الكون وظواهره ترتكز على جملة من المفاهيم والتصورات الميتافيزيقية التي لم يكن من السهل التخلي عنها او حتى تعديلها، مثل مفاهيم: المادة، والصورة، والجوهر، والوجود بالقوة، والوجود بالفعل، و«الطبائع» الخ، وايضا مثل التصورات التي تفصل بين الارض والسماء، وتقسم العالم، الى عالم الكون والفساد وعالم الثبات والدوام، الى غير ذلك من المفاهيم والتصورات التي كان من شأن التخلي عنها كليا او جزئيا، تقويض الفكر القديم كله.

وهكذا فالمسألة المطروحة مع قيام العلم الحديث على يد جاليلو كانت في الحقيقة والواقع، مسألة التخلي، او عدم التخلي، عن البنية الفكرية العامة التي سادت خلال العصور الوسطى والتي استمدت كثيرا من عناصرها من الفلسفة اليونانية. ولذلك كان لا بد ان يلاقي العلم الحديث معارضة شديدة، ليس فقط من جانب رجال اللاهوت وأصحاب الكنيسة الذين كفروا العلماء وحاكموهم وشردوهم أو قتلوهم، بل لقد لقي الفكر العلمي كما شيده جاليلو معارضة شديدة من جانب الفلاسفة والعلماء الذين كانت لهم مساهمات هامة في الكشوف العلمية ذاتها. اذ لم يكن من السهل على هؤلاء الفلاسفة - العلماء التخلي كلية عن المفاهيم القديمة التي بنوا عليها فلسفاتهم واسسوا انطلاقا منها رؤاهم «العلمية» الفلسفية.

وهكذا، فاذا تركنا جانبا رجال اللاهوت و«وكاترة» القرون الوسطى الذين عارضوا التجارب وحرموا الكتب التي تتحدث عن النظريات الجديدة (كنظرية كوبرنيك مثلا حول دوران الارض حول الشمس) وطعنوا في طريقة عمل جاليلو لكونه يستعمل الرياضيات، وهي من انشاء ذهني خالص في معالجة الظواهر الطبيعية المشخصة المتغيرة، الشيء الذي لم يكن يستسيغه التقليد الافلاطوني - الارسطي، اذا تركنا جانبا مثل هذه الاعتراضات، وقصرنا اهتمامنا على المناقشات التي كانت تشتد وتحتدم في الاوساط العلمية الفلسفية وحدها، فاننا سنلاحظ ان القطيعة الايبستيمولوجية التي دشنها جاليلو لم تصبح قطيعة عامة على مستوى البنية الفكرية السائدة الا بعد قرن من الزمن، اي بعد مجيء نيوتن وقيام ميكانيكاه العقلية. اما خلال المدة الفاصلة بين جاليلو ونيوتن فلقد بقيت البنية الفكرية القديمة تحاول الدفاع عن نفسها من خلال عدة مفاهيم تمسك بها العلماء - الفلاسفة وبنوا عليها انساقهم الفلسفية. ولم يكن من السهل التخلص منها، على الرغم من الكشوف العلمية الجديدة التي جاءت لتعزز كشوف جاليلو وطريقته التجريبية.

وسنحاول في الصفحات التالية ان نتعرف على بعض القضايا التي كانت مثار نقاش بين الفلاسفة والعلماء، والتي كانت تدور حول بعض المفاهيم والتصورات التي كانت تشكل نوعا من «العوائق الايبستيمولوجية» لم تتم تصفية الحساب معها الا بعد جهد وطول مدة.

### أ - توريشلي وقصة المضخة

حدث ذات يوم من أيام سنة 1642 ان لاحظ السقاؤون في حقول فلورانسا بايطاليا ان المضخة التي صنعها احدهم لرفع الماء الى مستوى أكبر من المستوى العادي المعروف لا ترفع الماء رغم كبرها، الا الى مستوى معين. ان الماء «يمتنع» من الصعود الى أعلى المضخة، ويقف عند ارتفاع معين لا يتعداه. ذهب صاحب المضخة الى جاليلو واخبره بالامر، فدهش لهذه الظاهرة وذهب الى عين المكان وتأكد من الامر، ثم قال: يظهر ان الطبيعة لا تخاف الفراغ (او الخلاء) الا في حدود معينة. وكان ارسطو ومن بعده «علماء» القرون الوسطى يفسرون صعود الماء بالمضخة بكونه يخشى الفراغ (مكبس المضخة يسحب الهواء من قناتها فيصعد الماء). ان كلمة «يخشى» تذكرنا بذلك التفسير الاحيائي لظواهر الطبيعة الذي ساد قديما.

كان مع جاليلو، وهو يومئذ شيخ مسن، تلميذ له اسمه توريشلي Torricelli (1608–1647) اثارت الظاهرة فضوله، فأخذ يفكر فيها على ضوء منهاج جاليلو في البحث، واهتدى الى الفكرة التالية: ان ارتفاع الماء بالمضخة ليس سببه خوف الماء من الفراغ، كما يعتقد الناس، بل السبب الحقيقي والطبيعي هو الضغط الذي يمارسه الهواء على سطح الماء، فاذا وجد الماء منفذا خاليا من الهواء (قناة المضخة) ارتفع فيه بفعل ذلك الضغط. كانت هذه الفكرة مجرد فرضية تخمينية، ولكنها ذات طابع علمي لانها فكرة يمكن التحقق من صحتها بالتجربة. فكر توريشلي في تجربة مصنوعة يثبت بها صحة هذه الفرضية وذلك باستبدال المضخة بقناة صغيرة من الزجاج، واستعمال الزئبق بدل الماء: أتى بصحن وملأ نصفه بالزئبق والنصف الآخر بالماء، ثم أخذ قناة زجاجية وأغلق احدى فوهتيها وملأها بالزئبق ثم شد الفوهة الاخرى بأصبعه وأدخلها مع جزء من القناة في الصحن، فلاحظ ان الزئبق الذي بالقناة سرعان ما اخذ في النزول تاركا اعلى القناة فارغا ليتوقف عند مستوى معين. رفع القناة قليلا الى المستوى الذي يجعل فوهتها المفتوحة تنتقل داخل الصحن، من الزئبق الى الماء، فلاحظ ان الزئبق الذي بالقناة يعود الى الارتفاع مصحوبا بالماء ليختلط مع هذا الاخير برهة من الزمن، ثم ليهبط كله تاركا القناة الزجاجية كلها مملوءة ماء.

ما هي نتيجة هذه التجربة والملاحظة المقرونة بها؟ (لنسجل هنا ان الملاحظة العملية مقرونة بالتجربة. فالباحث المجرب يلاحظ وهو يجرب، او يجرب وهو يلاحظ. وتلك خاصية اساسية في الملاحظة العلمية).

لقد اكدت التجربة، مبدئيا، فرضية توريشلي: فعندما هبط الزئبق في القناة الزجاجية ترك وراءه فراغا (افرغ القناة من الهواء) وعندما رفع توريشلي فوهة هذه القناة الى مستوى الماء ارتفع الماء في القناة نظرا لفراغها من الهواء. ولا يمكن ان يفسر هذا الارتفاع الا بتأثير الضغط الجوي. ومع ذلك فان هذه التجربة لم تبت في الامر بكيفية

حاسمة. لقد نقلت فرضية توريشلي من مستوى **الفرضية التخمينية** Conjecture الى مستوى **الفرضية العلمية** Hypothèse. لقد أوضحت هذه التجربة ان هناك فعلا قوة ما ترفع السوائل الى مستوى معين يتغير حسب نوعية السوائل، ولكنها لم تثبت بما لا يقبل الشك ان هذه القوة هي الضغط الجوي. فلا بد، اذن، من تنويع التجربة والاهتداء الى التجربة الحاسمة.

**ب) باسكال وقانون توازن السوائل**

سمع باسكال Pascal (1623–1662) بقصّة المضخة وتفاصيل التجربة التي قام بها توريشلي. فأراد ان يتأكد من صحة فرضية هذا الاخير. بدا عمله بالقيام بتجارب مماثلة بواسطة أنابيب زجاجية تختلف طولا وعرضا وشكلا ليتأكد من صحة نتائج تجربة توريشلي. فكانت النتيجة هي هي: السائل يرتفع في الانابيب الى حد معلوم لا يتعداه. ثم نوع التجربة بالابقاء على نفس الانابيب وتغيير السوائل (زئبق، ماء، زيت، نبيذ... الخ). فتأكدت الظاهرة من جديد.

ومع ذلك كله ادرك باسكال ان البحث ما زال في بداية الطريق: ان التأكد من الظاهرة لا يعني ان فرضية توريشلي اصبحت قانونا. ان الشيء الوحيد الذي من شأنه ان يحولها الى قانون هو العثور على تجربة تكشف عن **العلاقة** بين ارتفاع السو ئل والضغط الجوي. فاذا تمكنـا من اجراء تجربة تثبت لنا تغير مقدار ارتفاع السوائل بتغير قوة الضغط الجوي (كما هو الشأن في الدوال الرياضية) أمكننا حينئذ صياغة هذه الفرضية على شكل قانون.، وهنا تخيل باسكال تجربة حاسمة تجري في آن واحد في سفح الجبل ووسطه وقمته، ومعروف ان الضغط الجوي أقوى في سفح الجبل منه في وسطه، وأقوى منه في قمته. كان باسكال يعيش في منطقة روان Rouen وهي غير جبلية، فكتب الى صهره واسمه بيريي Périer الذي كان يسكن منطقة كليرمان فيران Clermont–Ferrand الجبلية وطلب منه اجراء التجربة المطلوبة. فقام بها سنة 1648 ولاحظ ان مستوى الزئبق في انبوبة توريشلي كان عند **سفح جبل** «بي دو دوم» puy de Dôme على مستوى 26 اصبعا وثلاثة اجزاء ونصف، ثم صعد الجبل وعند قمته لاحظ ان مستوى الزئبق في الانبوبة المذكورة قد انخفض الى 23 اصبعا وجزأين. وعندما اخذ في النزول من قمة الجبل اجرى تجارب في وسط الجبل، فكانت النتيجة ارتفاع مستوى الزئبق بالنزول الى الارض حتى اذا عاد الى سفح الجبل وجد نفس النتيجة التي لاحظها قبل بدئه الصعود. وهكذا تأكد ان هناك **علاقة مطردة** بين ارتفاع الزئبق في الانبوبة وبين الضغط الجوي: يزداد بازدياده وينقص بنقصانه، فكتب الى باسكال بالنتيجة، وكان هذا الاخير يقوم بتجارب مماثلة في محل اقامته، تارة في أعلى منزل، وتارة على الارض، فحصل على نفس النتيجة، وهي ارتفاع الزئبق في الانبوب الزجاجي بارتفاع الضغط الجوي وانخفاضه بانخفاضه. فتأكدت بذلك فرضية توريشلي واصبح الضغط الجوي هو السبب في ارتفاع السوائل في

الانابيب الفارغة.

لم يقف باسكال عند هذا الحد، بل عمم هذا القانون، معتبرا التجارب التي قام بها هو وصهره جزءا من ظاهرة عامة، ومظهرا لقانون عام في الطبيعة، فواصل ابحاثه وتجاربه على مختلف الاواني والسوائل وتوصل في النهاية الى قانون «توازن السوائل» المعروف. هذا بالاضافة الى التطبيقات العملية والصناعية التي فتح المجال لها أنبوب توريشلي. لقد تحول هذا الانبوب فيا بعد الى وسيلة لقياس الضغط الجوي (بارو متر)، وأداة لقياس الارتفاعات، وتوقع أحوال الطقس(5).

## ج) مشكلة الخلاء بين الفلسفة والعلم

قد يبدو انه من غير المعقول ان يناقش المرء، بعد كل هذه التجارب، فرضية توريشلي ونتائجها. ولكن الذي حدث هو العكس تماما: ذلك لانها تنطوي على تصور جديد للطبيعة يختلف اختلافاً جذريا عن التصور السائد من قبل. لقد كان هناك «عائق ابيستيمولوجي» يمنع بعض الفلاسفة والمفكرين من قبول نتائجها: لقد كان القدماء، وعلى رأسهم ارسطو، يقولون باستحالة وجود فراغ مطلق، لانه لو وجد مثل هذا الفراغ لوصل المتحرك الى بغيته دون زمان، وبذلك يبطل الزمان وتبطل الحركة! هذا من جهة، ومن جهة اخرى كان ديكارت - وهو معاصر باسكال - قد ارجع العالم كله الى عنصرين اثنين: الفكر والامتداد. فالطبيعة عنده ملاء كلها بالمادة التي ترجع في نهاية التحليل الى الامتداد Etendue (الشمعة مادة، وعندما تحترق يبقى منها شيء ما هو الامتداد). ولذلك عارض ديكارت فكرة وجود فراغ مطلق لانها تتعارض تماما مع اساس فلسفته، وقال: الانبوبة الزجاجية التي تحدثنا عنها سابقا ليست فارغة بالمرة، بل انها عندما تبدو «فارغة» تكون في «الحقيقة» مملوءة بمادة لطيفة Matiere subtile مادة رفيعة جدا لا يمكن اثبات وجودها بالتجربة!.

اننا هنا، اذن، ازاء فرضية ميتافيزيقية «لا يمكن اثباتها بالتجربة» وفي ذات الوقت «لا يمكن الاستغناء عنها»، والا ادى ذلك الى انهيار «العلم» الارسطي كله، والفلسفة الديكارتية كلها. فكان طبيعيا ان يحتدم النقاش حول وجود الفراغ المطلق او عدم وجوده، بين السائرين على التقليد الارسطي، والمناصرين لديكارت من جهة، وبين اولئك الذين اخذوا يتشبعون بالروح العلمية التي دشنها جاليلو، والذين لم يعودوا يقبلون من الفرضيات الا ما تؤكده التجارب، من جهة اخرى.

---

(5) بخصوص باسكال، انظر: نجيب بلدي: باسكال، سلسلة نوابغ الفكر الغربي. وايضا:

- E. Boutroux: Pscal–Paris 1900.
- J. Chevalier: Pascal–Paris1922.
- L. Brunschwieg: le Génie de Pascal–Paris 1924
- P. Humbert: L'oeuvre scientifique de pascal–Paris 1947.

ورغم ان باسكال لم يكن قد قطع نهائيا مع الفكر القديم، وخاصة الجانب اللاهوتي منه، ورغم انه كان ديكارتيا في فلسفته، فانه بقي مع ضرورة الاخذ بالنتائج التي تسفر عنها التجربة ويؤكدها التحقيق العلمي. تلقى باسكال من احد معارفه رسالة يقول فيها: ان ما تدعوه خلاء هو مملوء، لان له فعل الاجسام، فهو ينقل الضوء، وينكسر فيه وينعكس عليه، ويعرقل حركة جسم آخر (يتعلق الامر هنا بالفراغ الموجود داخل الانبوبة الزجاجية)، فرد عليه باسكال برسالة يضع فيها احدى القواعد الاساسية للفكر العلمي والمنهاج التجريبي. قال باسكال: «ان العقل لا يقبل شيئا ولا يرفضه، بشكل قاطع، الا اذا كان الامر يتعلق ببداهة عقلية او ببرهان، (لاحظ تأثير منهج ديكارت عليه). فما دام الفرض لم يكتسب اليقين ببداهة او برهان، فانه يبقى مجرد فرض، مع الميل الى صحته». ثم اخذ باسكال يحلل في رسالته مزاعم مكاتبه ويفندها قائلا: ان انكسار الضوء الذي تتحدث عنه ليس شيئا آخر سوى انكسار الاشعة على زجاج الانبوب. وحتى اذا سلمنا جدلا، بأن هناك مادة ما في الانبوب الفارغ، فهي لا تؤثر في الشعاع الضوئي. واذا افترضنا مع ذلك ان لها نوعا من التأثير عليه، فانه «تأثير» غير قابل للملاحظة. اما عن كون الشعاع الضوئي الذي يمر في الانبوبة الفارغة يستغرق زمنا خلال مروره عبرها، مما يدل في نظرك على وجود مادة بداخلها، فهذا ما لا يمكن تأكيده او رفضه، ما دمنا لا نعرف مسبقا حقيقة الضوء، وحقيقة الفراغ، وحقيقة الحركة، اذ لا بد من معرفة ذلك كله حتى نستطيع البت في افتراضكم. ولكن بما اننا نجهل ذلك، وبما ان التجربة تبين ان الضوء يمر عبر الانبوبة الفارغة، وان حركته فيها تستغرق زمنا، فانه لا بد لنا من ان نستنتج ان الضوء يسير في الفراغ (الظاهري على الاقل)، وان الحركة داخل هذا الفراغ تتم في زمان. هذا ما تدلنا عليه التجربة، ويجب ان نقبل بذلك، «وان لا نستنتج نتائج من امور نجهلها»(6).

ان هذه القاعدة المنهجية الثمينة، بالاضافة الى الملاحظات التي سجلناها سابقا، تجعل في امكاننا الآن استخلاص حقيقة الروح العلمية وخصائص المنهاج التجريبي وخطواته.

## 4) نتائج عامة: خطوات المنهاج التجريبي وخصائصه

نستخلص من كل ما سبق ان المنهاج التجريبي يتألف، بكيفية اجمالية تخطيطية، من الخطوات التالية: الملاحظة، الفرضية، التجْربة، القانون.، ولكن علينا ان لا ننظر الى هذه الخطوات كمراحل مستقلة، او كخطوات تتتابع بهذا الترتيب ضرورة.

والواقع ان الملاحظة العلمية تسبقها في غالب الاحيان فكرة موجهة، هي الفرضية في

(6) انظر نص الرسالة في:
R. Blanché. la méthode expérimentale et la physiologie de la physique P. 57-65-Armand Colin Coll. Sup. Paris.

شكلها التخميني، ولا تصبح هذه الفكرة فرضية علمية الا اذا سبقتها ملاحظات وتجارب. واذن هناك تداخل بين هذه الخطوات، مما يجعل من الصعب ضبط أيها اسبق من الاخرى. وسنرى في الفصل القادم كيف ان حركة الفكر في المنهاج التجريبي تتمحور كلها حول الفرضية، مما يجعل من هذا الاخير منهاجا فرضيا - استنتاجيا.

هذا من جهة، ومن جهة اخرى فان التحليل الذي قدمناه سابقا لظاهرتي سقوط الاجسام وارتفاع السوائل يكشف لنا عن جملة من الخصائص الاساسية تميز المنهاج التجريبي، وهذه اهمها:

1 - المنهاج التجريبي يعتمد الاستقراء اساسا، ولكن لا الاستقراء الارسطي، بل الاستقراء العلمي: الاستقراء الارسطي استقراء للكيفيات والخصائص، يقفز من الوقائع الجزئية الى «المبدأ العام»، من الصفات الخاصة، الى الصفات العامة. وهكذا فمن استقراء اكثر ما يمكن من انواع الاجسام التي تسقط والسوائل التي ترتفع في الانابيب (فقط اكثر ما يمكن، ولهذا كان الاستقراء بهذا المعنى ناقصا دوما) يتم القفز الى القول ان في الاجسام الطبيعية خاصية ذاتية تجعلها تسقط، او ان الماء يخشى الفراغ. ان هذا النوع من الاستقراء لا ينتج شيئا في مجال المعرفة العلمية، فهو يكتفي بوصف الظواهر وصفا كيفيا. اما الاستقراء العلمي فهو لا يقف عند حد تعداد الظواهر والاستعراض الكيفي للصفات، بل انه يعمد اساسا الى دراسة حالة واحدة واستقراء الاوجه التي تتمظهر فيها وتحليل العناصر التي تتألف منها. ان هذا هو ما يسمى اصطلاحا بـ«التحليل» Analyse

2 - وكما يعتمد المنهاج التجريبي على الاستقراء العلمي او التحليل يعتمد كذلك على الاستنتاج او التركيب Synthèse فالملاحظة والتجربة توحيان اثناء التحليل بالفكرة، الفرضية، ومن هذه الفرضية ينطلق الباحث في عملية استنتاجية متنامية يركب فيها العناصر التي تم الكشف عنها اثناء التحليل تركيبا منطقيا، الى ان يصل الى صياغة قانون او مبدأ عام، يعممه على جميع الظواهر.

وكما يختلف الاستقراء العلمي عن الاستقراء الارسطي، يختلف كذلك الاستنتاج او التركيب، في ميدان العلم، عن الاستنتاج المنطقي المحض، (عن القياس الارسطي)، ان الاستنتاج عكس الاستقراء، هو عملية ينتقل فيها الذهن من العام الى الخاص. بيد أن القياس الارسطي يهتم بالناحية الصورية فقط مهملا الناحية المادية. فاذا قررنا ان جميع الاجسام تسقط على الارض، وان البخار جسم، استنتجنا بكيفية آلية ان البخار يسقط على الارض. هذا صحيح منطقيا، صحيح من الناحية الصورية، ولكن ليس من الضروري ان يكون صحيحا من الناحية الواقعية التجريبية، فالمشاهدة اليومية تشير الى ان البخار يصعد الى السماء (بخار البحر يصعد الى الطبقات الجوية العليا ليكون السحاب). ان ما يعنى به القياس الارسطي هو الحرص على ان يتم الانتقال من المقدمات الى النتائج دون

ارتكاب خطأ في التفكير، اما مطابقة المقدمات والنتائج لما في الواقع التجريبي فذلك ما لا يهتم به. ولذلك كان الاستنتاج الارسطي صوريا محضا.

3 - والتجربة في المنهاج التجريبي، تجربة **مخبرية** اساساً، انها انتقال من الملاحظة العامية الى **ملاحظة عالمة مجهزة** دقيقة. ذلك ما يميز ملاحظة العالم عن ملاحظة الفيلسوف والفنان والكاتب، اولئك الذين يتعاملون مع الطبيعة كما هي معطاة لنا، **اما العالم المجرب فهو يصنع العالم** الذي يتعامل معه، يعزل الظواهر ويصنعها، لان الطبيعة لا توجد فيها حوادث معزولة.

ان عزل الظاهرة المدروسة هو اول عمل يقوم به المجرب، وهذا لا يتأتى له، في غالب الاحيان، الا في المخبر. فهناك، داخل مخبره وبواسطة آلاته وادواته، يتمكن من **استعمال القياس** ورصد الجانب الكمي في الظاهرة، واكتشاف العلاقات القابلة للتكرار والوقوف على المتغيرات الوسيطية (البراميترات). فاذا حصل على ذلك كله، ركب تلك الحدود والعلاقات في معادلة رياضية، وصاغ القانون العلمي.

4 - ومن هنا يتضح لنا ان اهم ما يميز المنهاج التجريبي الحديث، وبالتالي الفيزياء كلها، هو الاعتماد الى ابعد حد على **الرياضيات**. نقصد بذلك صياغة عالم التجربة صياغة رياضية، **او ارجاع حوادث الطبيعة الى بنيات رياضية**.

ولا يتعلق الامر هنا بمجرد تطبيق الحساب على حوادث الطبيعة، فالقدماء كانوا يفعلون ذلك احيانا، خاصة في ميدان الفلك، وانما يتعلق الامر اساسا بتحويل المعطيات الحسية، الغنية المشخصة، الى كميات تجريدية، اي الى رموز جبرية. وبالتالي تقويض الحواجز التي أقامها الفكر الميتافيزيقي القديم بين الرياضيات بوصفها من عالم الذهن، وبين الواقع المشخص، وجعلها متوافقين متطابقين. اما كيف يتطابق هذا مع ذلك، كيف تستطيع الرياضيات، وهي من انشاء الذهن، ان تعبر، عند تطبيقها على معطيات الواقع، عن حقيقة هذا الواقع، فتلك مشكلة ايبستيمولوجية عالجناها في الجزء الاول من هذا الكتاب (الفصلان الرابع والخامس).

لقد تحدثنا عن المنهاج التجريبي من الخارج فبينا خصائصه وشرحنا خطواته، مستعينين بأمثلة من تاريخ العلم. وعلينا ان ننتقل الآن الى مستوى آخر من التحليل أعمق قليلا. مستوى فحص الهيكل الداخلي لهذا المنهاج.

# الفصل الثاني

## المنهاج الفرضي الاستنتاجي في الفيزياء

## (ديكارت، هويغينز، نيوتن)

عرضنا في الفصل السابق لخطوات المنهاج التجريبي وخصائصه العامة كما استخلصناها من دراسة جاليلو لظاهرة سقوط الاجسام. واكدنا على ضرورة النظر الى تلك الخطوات والخصائص بوصفها كلا لا يقبل التجزئة، مبرزين مدى التداخل بين ما نسميه «ملاحظة» وما ندعوه «تجربة» وما نطلق عليه اسم: «فرضية». فالملاحظة والتجربة تندمجان، غالبا، في عملية واحدة، وتوجهها فكرة معينة، هي الفرضية في مرحلتها التخمينية. **والمنهاج التجريبي كله، هو عبارة عن مسلسل من الافكار والاجراءات العملية التجريبية يهدف الى الانتقال، تجريبيا ومنطقيا، بالفرضية التخمينية الى الفرضية المؤكدة (اي القانون).** انه يبدأ بجملة من الفروض لينتهي عبر الملاحظة والتجربة والمحاكمة الذهنية الى جملة من النتائج يعبر عنها تعبيرا رياضيا، في الغالب، على شكل قانون حتمي. فهو من هذه الناحية منهاج فرضي - استنتاجي Hypothetico-deductive لا يختلف من الناحية الشكلية عن المنهاج الرياضي (الاكسيومي). والفرق الاساسي بينهما هو أن الفرضيات في الاستدلال الرياضي تبقى مجرد مسلمات او مصادرات، يؤخذ بالنتائج المستخلصة منها على انها نتائج صادقة ما لم يكن هناك خطأ أو ثغرة في عملية الاستدلال. اما في الفيزياء فان النتائج التي تستخلص من الفروض تبقى غير ذات قيمة ما لم تكن وسيلة تؤكد او تكذب تلك الفروض نفسها، وذلك بواسطة التجربة. وعليه فان المنهاج التجريبي في ارقى صوره. بل في صورته الحقيقة، هو عبارة عن خطوات فكرية وعملية تبدأ بافتراض فروض وتنتهي الى اخضاع النتائج التي تستخلص منها، منطقيا، للتجربة قصد التأكد من صحتها، (اي صحة تلك الفروض). وسنحاول في الصفحات التالية تتبع نشأة وتطور هذا المنهاج في الفيزياء وبيان خصائصه العامة.

### 1) المنهاج الديكارتي بين الفلسفة والعلم

من المعروف ان ديكارت Descartes (1596-1650) شيد نظاما فلسفيا متماسكا، انطلق في بنائه «بترتيب ونظام» من الكوجيتو: انا اشك، وأعرف اني أشك، وبالتالي

فانا أفكر، واذن، فأنا موجود. هذه الحقيقة بديهية، كما يقول ديكارت. والمشكلة هي كيف الخروج من الكوجيتو، من «أنا افكر»؟ وجد ديكارت لنفسه مخرجا، بفحص افكاره و«عثوره» فيها على فكرة كائن كامل، مطلق الكمال (الله). بحث عن مصدر هذه الفكرة، فقال: انها لا يمكن ان تكون نابعة مني أنا الكائن الناقص، اذ لا يعقل ان يكون الناقص مصدرا للكمال. فلا بد أن يكون هذا الكائن الكامل هو الذي أودعها في، ولا بد أن يكون هو نفسه موجودا، لان كماله يقتضي وجوده، كما يقتضي انه اله غير خداع. هذه هي الخطوة الاولى في عملية الخروج من الكوجيتو. اما الخطوة الثانية فهي كما يلي: بما ان هذا الكائن الكامل لا يمكن ان يخدعني لانه كامل، والكمال يتنافى مع الخداع، وبما ان لدي ميلا قويا الى اعتبار هذا «العالم» الخارج عن نفسي موجودا، فاني اسلم بوجوده يقينا، والله ضامن هذا اليقين.

واذن، فيمكنني ان أبني علما ومعرفة بهذا العالم، شريطة ان انطلق في عملية البناء هذه من الافكار الواضحة، ثم استنتج من هذا العلم وهذه المعرفة التطبيقات التقنية التي تمكنني من السيطرة على الطبيعة. هكذا تصبح الفلسفة عند ديكارت كشجرة، جذورها الميتافيزيقا، وجذعها الفيزياء، واغصانها المتفرعة عنها هي مختلف العلوم التطبيقية التي ترجع الى ثلاثة رئيسية: الطب، والميكانيك، والاخلاق. الميتافيزيقا هي أساس للفيزياء، ومن الفيزياء تستنتج التطبيقات العملية.

هذا النظام المنطقي الذي يحدثنا عنه ديكارت في كتبه الفلسفية غير النظام التاريخي الذي سار عليه فكره. فلقد بدأ ديكارت كعالم وكرياضي قبل ان ينتهي به الامر الى الفلسفة. بدأ حياته كعالم وكمجرب، فبحث في السرعة والتسارع، وصاغ قانون القصور الذاتي (أو العطالة) واهتم بالضوء فضبط قانون انكساره، وأنشأ الهندسة التحليلية، واستعمل الحروف في الجبر بدل الاعداد، واستبدل بالحروف الاشكال الهندسية، واهتم بالعلاقات الرياضية العامة.

الح ديكارت على أهمية المنهاج الرياضي وضرورة اصطناعه، لانه وحده طريق اليقين. ولذلك فهو عندما يدعو الى تعلم الرياضيات، لا يقصد من ذلك اكتساب معرفة بالاعداد والاشكال وخواصها كما كان الشأن من قبل، بل من اجل تعويد الذهن على استعمال المنهج او الطريق الذي يوصل الى اليقين. ان المهم في نظره ليس تطبيق الرياضيات على الطبيعة، وان كان قد فعل هو نفسه ذلك في مرحلته العلمية، بل المهم بالنسبة اليه الآن كفيلسوف هو الحصول منها على طريقة تجنبنا الوقوع في الخطأ وتهدينا الى مستقيم التفكير. وبامكان الناس جميعا ان يحصل لهم ذلك «لان العقل السليم هو أعدل الاشياء قسمة بين الناس». واذن، فوحدة المنهج لديه راجعة الى وحدة الفكرة، لا وحدة العالم. فالعالم كثير

**ومتغير، اما العقل فواحد. وفي وحدة العقل تجد وحدة العالم شرطها الكافي**[1].

**ما الذي يجعل المنهاج الرياضي مثلا اعلى للمعقولية وطريقا اكيدا لبلوغ اليقين؟** انه **النظام والقياس: النظام الذي يمكن من استنتاج المجهول** من المعلوم، **والقياس الذي يمكن من تحويل الاشياء الى مقادير كمية بواسطة وحدة نختارها كأساس للقياس**. النظام يجعلنا نضع كل حد في مكانه في العبارة الرياضية فنتأدى بذلك الى الكشف عن قيم الحدود المجهولة، وذلك بعد ان نكون قد حولنا الكيفيات الى كميات بواسطة القياس.

ولكن كيف السبيل الى تقويم عقولنا حتى تتعود العمل بنظام وترتيب؟.

ليس من سبيل الى ذلك **الا بفحص العقل نفحه**، في حالته الخالصة واكتشاف قواه الاساسية. واذا نحن قمنا بهذا الفحص تبين لنا ان قوى العقل ترجع في نهاية التحليل الى **قوتين: الحدس والاستنتاج**. بالحدس، وهو رؤية عقلية مباشرة، نكتشف الطبائع البسيطة، اي الافكار والمبادىء التي لا يمكن ارجاعها الى أبسط منها. مثل الامتداد والحركة، ومثل «الحقائق البديهية» كـ «أفكر اذن انا موجود». ومثل العلاقة التي تقوم بين حقيقة ما والحقيقة المرتبطة بها، مثل 1 + 3 = 4. واذن، **فالبساطة التي يعنيها ديكارت هنا ليست بساطة المفاهيم او الاشياء، بل بساطة الفعل العقلي**. فالفعل العقلي البسيط – في **نظره** – يجعلنا ندرك الله كطبيعة بسيطة مثلما ندرك الدائرة والعدد والشكل ووجودي انا، ومن ثمة **فالمقصود بالنظام عند ديكارت هو نظام العقل لا نظام الاشياء**. ولذلك كان الاستنتاج هو الحصول على حقائق جديدة من حقائق تمت معرفتها بواسطة الحدس. ومن هنا يكون الفرق بين الاستنتاج الارسطي والاستنتاج الديكارتي هو ان الأول عبارة عن رابطة بين مفاهيم (مفهوم الانسان – سقراط، ومفهوم الموت)، في حين ان الثاني هو رابطة بين حقائق (من حقيقة «أفكر فأنا موجود» استنتج حقيقة وجود الله كضامن لليقين، ثم حقيقة وجود العالم الطبيعي... الخ). الاستنتاج الديكارتي هو حركة فكرية متواصلة يقوم بها فكر يرى الاشياء الواحد تلو الآخر، بوضوح كامل. انه استنتاج يقوم على قضايا يقينية. ويقينها راجع الى البداهة العقلية، اي الى الحدس، في حين يقبل القياس الارسطي القضايا الاحتمالية ويعتمد في يقينه على «الاستقراء التام» وهو متعذر.

منهج ديكارت، اذن، منهج **فرضي – استنتاجي**. فهو ينطلق من «الحقائق» التي تدلنا عليها البداهة العقلية، (أي من الفروض). ومنها يستنتج نتائج، ومن هذه النتائج يستخلص نتائج جديدة. حتى يصل الى نتائج تفسر العالم الطبيعي. وللتأكد من صحة هذه النتائج الأخيرة **يلجأ الى التجربة**. وديكارت يلح على ضرورة اعتماد التجربة، ليس عند بداية البحث وحسب، بل عند نهايته ايضا.

(1) لا نحتاج الى الاشارة الى المراجع حول ديكارت فهي كثيرة معروفة وكتبه معروفة متداولة كذلك. ومن المراجع المختصرة نشير الى كتاب نجيب بلدي: ديكارت، في سلسلة نوابغ الفكر الغربي، دار المعارف، القاهرة، والى:
F. Alquie: Descartes. Hatier-Paris. -1956-|Coll, Connaissance des lettres.

ولكي نأخذ فكرة أوضح عن هذا المنهج الفرضي - الاستنتاجي - التجريبي الديكارتي نترك ديكارت نفسه يحدثنا عنه. يقول: لقد عملت اولا على الحصول على المبادىء الاولى التي هي علة كل ما يوجد، وما يمكن ان يوجد، دون اعتبار اي سبب آخر غير الله خالق الكون، والبذور التي زرعها فينا (يقصد الافكار الفطرية). ثم بحثت بعد ذلك عن الموجودات العامة التي ننسبها الى هذه الاسباب الاولى، فوجدت السموات والنجوم والارض والبحار... وغير ذلك من الاشياء التي يعرفها الجميع. وعندما أردت النزول الى ما هو جزئي ومختلف، الى ما هو خاص، وجدت نفسي امام كثرة واختلاف، فذهلت لاني لم اتبين كيف اعالجها بوصفها نتائج للاسباب الاولى، فعدت بذهني الى الاشياء التي لا تقدمها لي حواسي (كالامتداد والحركة) فوجدت انه لا يوجد في الحوادث الجزئية ما لا يمكن ارجاعه الى تلك المبادىء والقوانين (ومن هنا النزعة الميكانيكية الديكارتية). لكن الصعوبة هنا قائمة في تعيين المبادىء التي ترجع اليها هذه الظاهرة او تلك. ووسيلتنا الوحيدة للتأكد من ذلك هو الرجوع مجددا الى التجربة، فهي وحدها التي تفصل فيما اذا كانت هذه الظاهرة تعود الى هذا المبدأ او انها ترجع الى مبدأ آخر.

واضح من هذا ان نقطة الانطلاق عند ديكارت هي الاسباب الاولى لا الظواهر. فديكارت لا يقتصر على دراسة الظواهر كما فعل جاليلو، بل انه لام هذا الاخير لكونه اغفل «الاسباب الاولى»، واهتم بالجزئيات وحدها. اما اللجوء الى التجربة، فليس من اجل الاكتشاف، بل من اجل التحقق مما قرره العقل: **فاذا انطبق ما في العقل مع ما في التجربة كان ذلك دليلا على صحة الاستنتاج. وهكذا فالنتائج مبرهن عليها بالمقدمات، وهي اسبابها، والمقدمات مبرهن عليها بالنتائج، نتائجها هي! ويجب ان لا نرى في هذا دورا كما يقول المناطقة، لان التجارب تؤكد صحة النتائج، وصحة النتائج تؤكد صحة المقدمات.**

يقول ديكارت: ان الفروض التي وضعتها كمقدمات ليس من الممكن البرهنة عليها قبليا. والا تطلب ذلك تقديم فيزيائي كلها مرة واحدة. ولكن النتائج التي استخلصها من تلك الفروض، والتي لا يمكن استخلاصها من فرض آخر، تبرهن، بعديا، على تلك المقدمات، وارجو ان يتأكد الجميع يوما من صحة مقدماتي، مثلما يوافقون اليوم طاليس على رأيه القائل ان القمر يستمد ضوءه من الشمس، ففرضية طاليس هذه غير مبرهن عليها قبليا، بل فسر بها ضوء القمر تفسيرا قبله الجميع. هكذا يجب ان ننظر الى المقدمات التي وضعتها. لان النتائج تؤكدها بواسطة التجربة.

ويضيف قائلا، اما فيما يتعلق بتبرير المبادىء والاسباب التي وضعتها كمنطلق فيكفي ان تكون النتائج التي تلزم عنها شبيهة بما يحدث في الطبيعة. وليس من الضروري التأكد مما اذا كانت تصدر فعلا عن هذه الاسباب نفسها او عن سبب آخر خفي. على انه يمكن الحصول على يقين معنوي بأن أشياء هذا العالم هي كما بينا. وذلك عندما يكون من

الممكن مقارنة الفرضيات التي تفسر الظواهر بالقيم المختلفة التي تعطى للرموز الجبرية. فكما ان صحة هذه القيم تتوقف على مدى انسجامها مع تركيب المعادلة الرياضية، فكذلك الفروض العلمية تعتبر صحيحة عندما تكون منسجمة مع معادلة الطبيعة. وهناك يقين ثالث اقوى من اليقين الاول والثاني نحصل عليه عندما يتبين لنا انه لا يمكن الحكم على شيء ما الا بما حكمنا به عليه، ويتعلق الامر هنا بما يبرهن عليه رياضيا.

واذن، فان الفرض الذي نقترحه لتفسير ظاهرة ما، يكون مقبولا ومبررا - في نظر ديكارت - في احدى حالات ثلاث:

أ - عندما تكون النتائج التي نستخلصها منه بالاستنتاج مشابهة لتلك الظاهرة، حتى ولو كان هناك احتمال بأن عنصرا آخر خفيا هو السبب الحقيقي في حدوث الظاهرة.

ب - عندما تكون النتائج التي نستخلصها منه بالاستنتاج متسقة تماما مع ما يحدث في الطبيعة، اتساق القيم التي تعطى للمجهول في المعادلة الرياضية مع باقي عناصرها.

ج - عندما يتبين لنا انه لا يمكن تفسير الظاهرة بغير ما فسرناها به، وفي هذه الحالة نكون امام يقين في مستوى اليقين الرياضي.

**هكذا نجد انفسنا امام ثلاث درجات من اليقين العلمي: اليقين الناتج عن كون الفرض يفسر الظاهرة بشكل مقبول ومرض، واليقين الناتج عن عدم تناقض الفرض الذي اقترحناه مع القوانين الاخرى، واخيرا اليقين الناتج عن كون الفرض نفسه يصبح قانونا لا يمكن استبداله بغيره..** واذا ترجمنا هذا الى اللغة الابيستيمولوجية المعاصرة امكننا القول: ان «اليقين» الأول و«اليقين» الثاني هما في الحقيقة الشرطان الضروريان اللذان يجب ان يتوفرا في الفرضية العلمية، وهما: **التوافق، وعدم التناقض**، التوافق مع معطيات الواقع التجريبي، وعدم التناقض مع ما سبق اكتشافه من قوانين، اما اليقين الثالث فهو **القانون بمعنى الكلمة**.

* * *

تلك كانت، باختصار شديد، الخطوط العامة للمنهاج الفرضي - الاستنتاجي عند ديكارت وهو كما رأينا منهاج تختلط فيه الفلسفة بالعلم. والجانب العلمي فيه يخدم الجانب الفلسفي، مثلما جعل ديكارت فيزياءه خادمة لميتافيزقاه. ذلك ان البداهة التي جعلها أساس اليقين هي بداهة عقلية لا بداهة حسية. وبالتالي فان الاساس «العلمي» الذي بنى عليه منهجه ميتافيزيقي لا تجريبي. وهو في هذا صريح كل الصراحة، يقول في رسالة وجهها الى الاب مرسين في 1630/4/15: «ولن يفوتني ان أذكر في دراساتي الفيزيقية عدة مسائل ميتافيزيقية، وخاصة هذه المسألة: «ان الحقائق الرياضية، تلك التي تعتبرونها أبدية قد أنشأها الله، وهي متوقفة عليه توقفا كليا، مثلها مثل سائر المخلوقات وأنا أناشدك أن لا تتردد في القول في كل مكان ان الله هو الذي انشأ هذه القوانين

في الطبيعة، كما ينشىء ملك القوانين في مملكته». اضف الى ذلك ان فيزياءه لم تكن رياضية بالمفهوم الذي شرحناه قبل عند حديثنا عن جاليلو، فكل ما اعجبه في الرياضيات هو وضوحها العقلي، لا الصياغة الكمية لحوادث الطبيعة، ان الرياضيات عنده ليست اداة لليقين بل نموذجا لليقين. ومن هذه الناحية يمكن القول ان ديكارت كان متخلفا كثيرا عن جاليلو وروحه العلمية ومنهاجه التجريبي. لقد كان اقرب الى افلاطون - في هذه النقطة - منه الى اي عالم آخر كجاليلو او هويغنز ومع ذلك فيجب ان لا نقلل من اهمية تأثير ديكارت في عصره والعصور التالية. ان ديكارت هو أبو الفلسفة الحديثة بدون منازع. ولقد كان تأثيره في الفكر الاوروبي في القرن السابع عشر والثامن عشر اقوى من تأثير اي مفكر او عالم آخر. واذا نحن نظرنا الى تطور الفكر الاوروبي من خلال التأثير الذي خلقه هذا العالم او ذاك، امكننا القول بدون تردد: ان دور ديكارت في تقويض دعائم الفكر القديم وارساء الفكر الاوروبي الحديث على أسس جديدة عقلانية كان اعظم خطرا، وأشد تأثيرا من الدور الذي لعبه جاليلو، مع اعترافنا بأن هذا الاخير كان اكثر جذرية واسبق زمنا

## 2) هويغنز والتقيد الصارم بمعطيات التجربة

على الرغم من ان هويغنز Huygens (1629-1695) تأثر بالديكارتية الا انه حرص على السير على النهج الذي خطه جاليلو، منصرفا عن الميتافيزيقا حاصرا اهتمامه في العلم. نحن هنا اذن، امام عالم مارس البحث العلمي وبقي يعمل في اطاره. لقد اكمل هويغنز نظرية البندول Pendule (أو النواس) التي قال بها جاليلو، فدرس البندول المركب وتوصل الى حساب القوى التي تتجاذب الجسم المعلق عليه، فمكنه ذلك من اختراع اول ساعة بندولية لضبط الوقت. ثم اكتشف مبدأ الزنبرك اللولبي مما مكنه من صنع الساعات الجيدة والقيام باكتشافات علمية جديدة. واكثر من ذلك ان حركات البندول ليست متساوية زمنيا في جميع انحاء الكرة الارضية فاستنتج من ذلك تفلطح سطح الارض. هذا علاوة على نظريته الموجبة في طبيعة الضوء التي سنتعرض لها خلال تحليلنا لمنهجيته العلمية.

يختلف هويغنز عن ديكارت اختلافا اساسيا في المنطلق، فهو لم يكن يبني آراءه على مقدمات عقلية ضرورية اليقين كما كان يفعل صاحب «المقال في المنهج» بل على فروض علمية يستوحيها من الظواهر التي يدرسها ويجرب عليها، ثم يترك مسألة الصدق فيها معلقة بنتائج التجربة، مستعملا هكذا، وبوعي، المنهاج الفرضي - الاستنتاجي في صورته العلمية، لا في مستوى البحث عن القوانين وحسب، بل وفي مستوى البحث عن اسباب وصياغة النظريات كذلك.

يرى هويغنز، وهو يعبر بهذا عن التصور العلمي المعاصر للمنهاج الفرضي الاستنتاجي، ان اليقين في ميدان العلوم الطبيعية غير اليقين في ميدان الهندسة. ذلك لان علماء

الهندسة ينطلقون في استنتاجاتهم من مقدمات ومبادىء يعتبرونها يقينية لا تقبل الاعتراض، في حين ان المقدمات او المبادىء في العلوم الطبيعية هي مجرد فرضيات لا يتحقق صدقها الا عندما تتفق النتائج التي تستخلص منها مع معطيات التجربة. ويزداد هذا الصدق قوة حينما تمكننا الفرضية التي تأكدت بالتجربة من التنبؤ بظواهر جديدة تزيد في تزكيتها.

لقد أدرك هويغنز بوضوح اهمية الفرضية في البحث العلمي، فلم يتردد في اقتراح فرضيات كانت تبدو في وقته مخالفة للتصور العلمي السائد في عصره. ولكنه، في ذات الوقت، لم يكن يدعي لفرضياته الوضوح والبداهة، كما هو الشأن عند ديكارت، بل كان يعتبرها افكارا توحي بها ملابسات الظواهر المدروسة، تاركا مسألة صحتها او عدم صحتها للتجربة، وللتجربة وحدها.

انتقد هويغنز النزعة الوثوقية (الدوجماتية) عند ديكارت: فهو يرى ان النظرية الديكارتية التي تقول ان الضوء ينتقل في الامتداد على شكل حبات تتشكل منها الاشعة على صورة اعمدة ضاغطة تربط العين بمصدر الضوء، وتفسر انكساره بكونه اسرع في الوسط الكثيف منه في الوسط الخفيف تشبيها له بالكرة التي يكون رد فعلها اقوى عندما تصطدم بجسم صلب، منها عندما تصطدم بجسم رخو.. ان هذه النظرية – يقول هويغنز – لا تستند على وقائع علمية، بل فقط على الاعتقاد بأنه من الممكن تفسير الظواهر الطبيعية وبيان حقيقتها بمجرد التأمل العقلي. انه يعجب من أولئك الذين يتسرعون في تفسير طبيعة الضوء، مع انه لم يتبين بعد كيف ان الضوء ينتشر على خطوط مستقيمة، ولماذا. وكيف ان الاشعة الضوئية التي تصدر من جهات مختلفة لا يعوق بعضها بعضا، فلا تتصادم، وعلى الاقل لا تتأثر في مسارها بهذا التصادم.

وعلى أساس من هذه الانتقادات التي وجهها هويغنز لنظرية ديكارت في تفسير طبيعة الضوء، حاول بناء نظرية خاصة به استوحاها من ملاحظة الظواهر الضوئية: فهو يسلم بأن الضوء هو، في حقيقته، عبارة عن حركة مادة ما. فكما ان النار تذيب بعض الاجسام مما يؤكد انها هي نفسها عبارة عن أجسام تتحرك حركة سريعة جدا، الشيء الذي يمكنها من ذلك، فكذلك الاشعة الضوئية، هي عبارة عن مادة ما، لأن الاشعة التي تتجمع في مرآة مقعرة تكتسب خاصية الاحراق، اي انها تعمل على فصل الاجزاء المادية التي يتكون منها الجسم المحترق، مما يثبت ماديتها. ثم يلاحظ هويغنز ان فعل الرؤية يقوم اساسا على كون حركة مادة ما تؤثر في اعصاب العين، الشيء الذي يؤكد ان الضوء ناتج عن تأثير مادة موجودة بين العين الناظرة والجسم الذي يصدر منه الضوء (لاحظ تأثره هنا بديكارت الذي يرفض فكرة الخلاء). وبما ان الضوء ينبعث من جهات مختلفة، وبسرعة عظيمة، وبما ان الاشعة الضوئية لا يعوق بعضها بعضا في حركتها هذه حتى ولو صدرت من جهات متعامدة، فانه من الواضح ان الضوء لا يمكن ان يكون – والحالة هذه –

عبارة عن انتقال مادة ما من الجسم الى العين انتقالا يشبه حركة الكرة او حركة السهم الذي يخترق الفضاء. ان مثل هذا التصور لطبيعة الضوء يناقض الخاصيتين السابقتين، وبالخصوص الثانية منها(2).

من اجل ذلك كله يرى هويغنز انه من الضروري البحث عن تفسير آخر لا يتناقض مع هذه الظواهر. ويقول في هذا الصدد: ان في طريقة انتشار الصوت في الهواء (وهو ينتشر على شكل موجات)، ما يوحي لنا بالتفسير المطلوب. واذن، فالفرض الاكثر احتمالا في نظر هويغنز هو القول بالطبيعة الموجية للضوء.

وهكذا نرى انه ينتقد ديكارت انتقادا علميا، اي انتقادا مستندا على تحليل الظاهرة وابراز الجوانب التي لا تتوافق فيها النظرية الديكارتية مع معطيات التجربة. وعلى الرغم من انه كان لديه من الوقائع ما يكفي لتبرير نظريته القائلة بان الضوء عبارة عن موجات، الا انه اكتفى بابراز التشابه القوي بين حركة الضوء وحركة الصوت وتموج الماء، معترفا بالصعوبات التي تعترض هذه النظرية الجديدة، والتي لم يكن من الممكن التغلب عليها في عصره. وقد اثبتت الابحاث التي أجريت من بعده بوقت طويل صحة نظريته، كما سنرى فيما بعد.

هذا واذا كانت هذه المناقشة التي اتينا بها حول طبيعة الضوء، تكشف لنا عن حقيقة المنهاج الفرضي - الاستنتاجي: الانطلاق من فروض توحي بها معطيات التجربة لبناء نظرية بواسطة الاستنتاج، نظرية لا يمكن الاخذ بهذا كنظرية صحيحة الا اذا اكدتها التجربة، فانها اي هذه المناقشة تكشف لنا عن بعض خصائص النظرية الفيزيائية ذاتها.

ان النظرية الجديدة تقوم غالبا عندما تظهر في النظرية القديمة ثغرات تكذب بعض جوانبها او ظواهر تعجز النظرية عن استيعابها. فنظرية ديكارت التي تفسر طبيعة الضوء تفسيرا ذريا وتعتبر الشعاع الضوئي عبارة عن عمود يمارس الضغط على العين لتحصل الرؤية، جزء من الفلسفة الديكارتية القائمة على تصور الكون على انه امتداد. وفي نطاق هذه النظرية - المؤسسة على تصور ميتافيزيقي - امكن تفسير بعض الظواهر الضوئية مثل الانعكاس والانكسار... والوصول الى قوانين صحيحة (قوانين انكسار الضوء التي صاغها ديكارت)، على الرغم من فساد المقدمات التي تأسست عليها النظرية تلك. واذن فان **صحة النتائج لا تقوم دليلا على صحة المقدمات**.

وعندما ظهرت معطيات جديدة، لا تقبل التفسير في اطار النظرية الديكارتية تزعزعت هذه. **ان ظاهرة واحدة معاكسة يمكن ان تهدم النظرية بأتمها**. ولكن الفكر الديكارتي النزاع الى التعميم لا يعير كثير اعتبار لـ «الحوادث النادرة»، فديكارت يصرح انه رد الظواهر العامة الى المبادىء الاولية، لتكون النظرية صحيحة، حتى ولو بقيت

(2) انظر نصاً في الموضوع اورده بلاتشي في المرجع الآنف الذكر

هناك حوادث جزئية لا تستوعبها النظرية . وهذا **موقف غير علمي**.

غير ان النظرية الجديدة التي توحي بها «الحوادث النادرة» لا تقبل كنظرية صحيحة الا اذا نجحت في تفسير الظواهر التي نجحت النظرية القديمة في تفسيرها. وحتى لو استطاعت ذلك فانه قد يحدث ان تظهر «حوادث نادرة» اخرى تعجز عن تفسيرها... الشيء الذي يستوجب قيام نظرية جديدة.. وهكذا. واذن، **فالنظرية العلمية هي، بطبيعتها، نظرية مؤقتة**، ومن هنا قامت، وتقوم، صيحات تطعن في المعرفة العلمية ذاتها، وفي مشروعية اعتبار القضايا العلمية حقائق يقينية، كما فعلت وتفعل النزعات المثالية والاتجاهات الوضعية. ولكن العلماء الواثقين بالعلم، الواعين بطبيعة المعرفة العلمية، كمعرفة تتطور وتنمو باستمرار، يردون على هذه الدعاوى قائلين: «اننا لا نعرف شيئا عن الكون الا من خلال القوانين، واذن فلا شيء مما نعرفه يمكن ان يكذب القوانين».

هذه الملاحظات الاولية التي سجلناها هنا، ستغتني وتتوسع في الفقرة التالية التي سنتحدث فيها عن فيزياء نيوتن ومنهاجه الفرضي - الاستنتاجي.

## 3) نيوتن وعلم القرن الثامن عشر

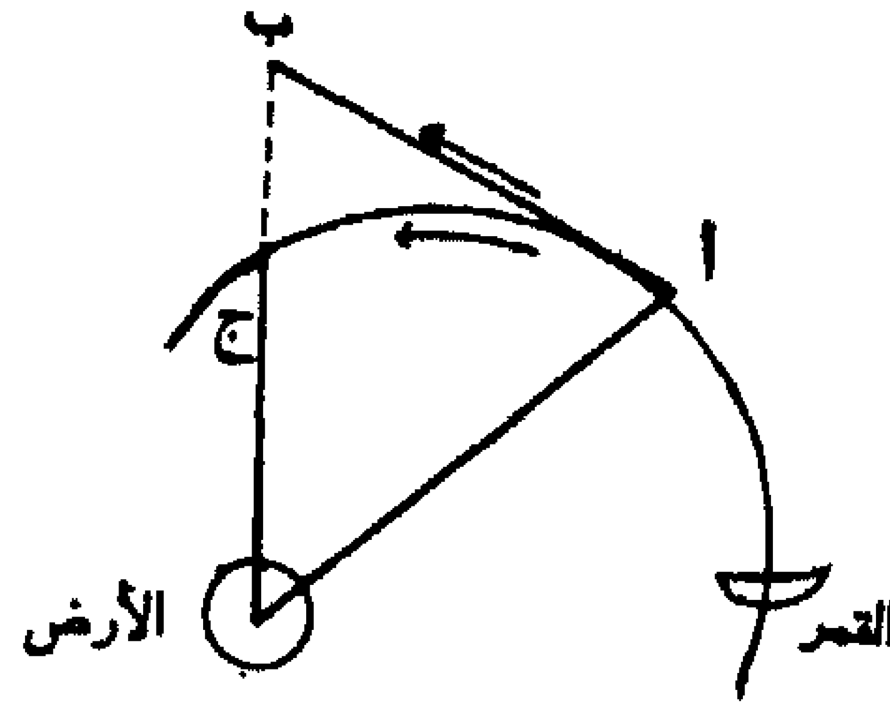
لقد كان اسحق نيوتن Isaac Newton (1643–1727) اعظم شخصية علمية عرفها القرن الثامن عشر، بل اكبر شخصية عرفها العلم الكلاسيكي كله. لقد ارسى دعائم العلم الحديث موضوعا ومنهاجا، وفتح امامه آفاقاً واسعة بفضل كشوفه العلمية المختلفة المتعددة: تحليل الضوء الابيض، اكتشاف قوة الجذب، تفسير كثير من الظواهر الضوئية، صياغة النظرية الجسيمية في الضوء صياغة علمية، الى جانب مساهماته في الميدان الرياضي (اكتشاف حساب التفاضل والتكامل). والى جانب ذلك كله **استطاع نيوتن ان يحقق للفيزياء الكلاسيكية وحدتها في اطار تصور عام للكون منسجم ومتكامل مما جعل الكشوف العلمية اللاحقة، والى اواخر القرن التاسع عشر، تبقى، في معظمها، في دائرة العلم النيوتني الذي قامت عليه الحضارة الغربية الحديثة**. ويمكن القول بصفة عامة ان الفكر العلمي بمختلف جوانبه ومنازعه - وكذا الفكر الفلسفي - قد بقي، طوال القرنين الماضيين، يتحرك داخل البنيان الذي شيده نيوتن، وذلك الى درجة ان الافكار والنظريات العلمية التي ظهرت خلال المدة المذكورة، لم تكن تقبل، او على الاقل لم يكن ينظر اليها بعين الارتياح والرضى، الا اذا كانت مندرجة في النظام العام الذي اقامه صاحب نظرية الجاذبية.

مثل هذه الشخصية العظيمة لا بد ان تستثير فضول الخيال، ولا بد ان تنسج حولها بعض الحكايات والاساطير، منها الحكاية التالية:

في سنة 1666، جلس نيوتن، وعمره آنذاك 24 عاما، تحت شجرة تفاح، وكان الوقت مساء، وبينما هو في شبه غفوة سقطت تفاحة من الشجرة، فرفع نيوتن بصره الى أعلى

مندهشا، فرأى القمر يرسل أشعته من فوق الشجرة، فتساءل: لماذا لا يسقط القمر مثلما يسقط التفاح؟ من هنا كان منطلقه لنظريته في الجاذبية. وسواء كانت هذه الحكاية صحيحة او كانت من نسيج الخيال، فلقد انكب نيوتن منذ سن مبكرة على دراسة حركات الاجرام السماوية مستفيدا من الابحاث التي قام بها كبلر وجاليلو.

لماذا لا يسقط القمر مثلما سقطت التفاحة؟ لقد اوحى هذا التساؤل الفضولي لنيوتن – كما تقول الحكاية– بفرضية علمية حول فيها تلك الحادثة المألوفة من المجال الطبيعي الخام، الى المجال الرياضي المجرد. ومؤدى هذه الفرضية كما يلي: اذا كان القمر لا يسقط، فذلك لانه يبتعد عن الارض في اتجاه المماس أ ب (أنظر الشكل) وذلك بناء على المبدأ القائل: يبقى الجسم المتحرك على حركته المستقيمة ما لم يعترضه عائق، ولكن بما ان الارض تجذب القمر اليها فإنه يتجه خلال حركته في اتجاه القوس أ ج، الشيء الذي يجعله يسير في اتجاه الارض بمقدار ب ج.




هكذا اكتشف نيوتن الحقيقة التالية، وهي ان **ظاهرة سقوط الاجسام مظهر من مظاهر الجاذبية**. نعم، لقد كانت فكرة الجاذبية معروفة من قبل. وقد توصل احد العلماء قبل نيوتن واسمه هوك Hock الى القول ان قوة الجذب تتناقص بشكل يتناسب مع مربع المسافة. ومن المحتمل ان يكون نيوتن قد سمع بهذه الفكرة أو توصل اليها بنفسه، **ولكن المهم ليس الفكرة في حد ذاتها، بل المهم ادخالها في نسق عام، او جعلها اساسا لنسق جديد.**

حاول نيوتن ان يصوغ هذه الفكرة على شكل قانون رياضي، ولكن محاولته هذه تعثرت اول الامر لانه وجد ان طول شعاع الارض كما هو في معادلته اكبر مما كان معروفا ومتداولا. اضف الى ذلك الصعوبة التالية، وهي انه إذا كان السقوط – سقوط التفاحة – ينجم عن قوة الجذب التي للارض، فليس واضحا أن الارض التي تجذب الاشياء اليها في مختلف نقاطها، تفعل ذلك وكأن كتلتها مركزة كلها حول مركزها. قضى نيوتن عدة سنوات في دراسة هذه المعضلة محاولا صياغة الفكرة السابقة صياغة رياضية. وبما ان رياضيات عصره لم تكن تساعده على ايجاد الحل، اذ لا بد هنا من حساب التفاضل والتكامل، فقد توصل نيوتن الى حل المشكلة بطرق حسابية اشبه ما تكون بتلك المتبعة في هذا الفرع الجديد من الرياضيات، وكان ذلك سنة 1683.

وفي نفس السنة عكف نيوتن - وكان قد درس مؤلفات ديكارت العلمية واطلع على مؤلفات هويغنز وكشوف كبلر وجاليلو وغيرهم - على تأليف كتابه الخالد «المبادىء الرياضية للفلسفة الطبيعية». وهو الكتاب الذي الفه في مدة عامين (1684-1685) في جو من الانفعال والانشغال الفكري والاجتهاد المتواصل، مع نوع من «الاشراق الصوفي» كما يقول هو نفسه.

يتألف الكتاب المذكور من ثلاثة اجزاء: عرض في الجزء الاول والثاني علم الميكانيك على شكل نظام فرضي استنتاجي جمع فيه أبحاث العلماء الذين سبقوه وابحاثه الشخصية. وقد صاغ مجموع نتائج هذه الابحاث صياغة أكسيومية مرتكزة على ثلاثة مبادىء اساسية، فجاء كتابه أشبه بكتاب «الاصول» لاوقليدس. وهكذا أسس نيوتن الميكانيكا العقلية، أي الميكانيكا التي تبنى على المنهج الفرضي الاستنتاجي.

أما المبادىء الثلاثة التي بنى عليها نيوتن ميكانيكاه هذه، فهي:

1- يبقى الجسم ساكنا، او يستمر في حركته على خط مستقيم وبسرعة ثابتة، ما لم يكن خاضعا لتأثير قوة خارجية.

2- اذا تغيرت حركة جسم ما، فان هذا التغير يكون متناسبا تناسبا طرديا مع القوة الخارجية، وتناسبا عكسيا مع كتلة الجسم، ويتم هذا التغير في اتجاه تلك القوة.

3- كل فعل يقابله رد فعل مساو له ومتجه في عكس اتجاه الفعل.

المبدأ الاول هو قانون العطالة، اما الثاني فهو قانون اساسي في الديناميكا ويعبر عنه بالعلاقة التالية: ق = كـ.ع. حيث تدل «ق» على القوة و«كـ» على الكتلة و«ع» على التسارع. وعلى ضوء هذه القوانين الثلاثة، واستنادا الى القوانين التي قال بها كبلر صاغ نيوتن قانون الجاذبية الكونية كما يلي:

**الجسمان ينجذبان، احدهما الى الآخر، انجذابا متناسبا طردا مع كتلتيهما، وعكسا مع مربع المسافة الفاصلة بين مركز جذب احدهما ومركز جذب الآخر.**

ذلك هو قانون الجذب العام الذي مكن من حل كثير من المشاكل العلمية وتفسير كثير من الظواهر الطبيعية مثل المد والجزر، وحركة الاجرام السماوية في مداراتها، وحركة المذنبات الى غير ذلك من الظواهر، مما مكن نيوتن من تخصيص الجزء الثالث من كتابه لعرض نظريته في «نظام الكون»، وهو نظام طبق فيه القوانين التي توصل اليها في الجزئين الاول والثاني، على مجموعة المشاكل التي كانت تناقشها فلسفة الطبيعة، واضعا حدا نهائيا للتفسيرات الميتافيزيقية والافتراضات التي لا تقوم على اساس من التجربة، مجتهدا في ارجاع مختلف ظواهر الطبيعة الى مبدأين اثنين: **المادة والحركة**، فاكتسبت بذلك **النزعة الميكانيكية** سيطرة عامة في مختلف المجالات.

لقد ذهب نيوتن الى ابعد مما فعل هويغنز في التأكيد على ضرورة استقاء الفروض

العلمية من التجربة وحدها. فهو لم يكن يكتفي، كما كان يفعل ديكارت، باتساق النظرية مع الظواهر بشكل عام. بل كان يطلب من النظرية ان تساعد على حساب القيم المعددية للظواهر الطبيعية بشكل دقيق ثم يلجأ الى التجربة للتأكد مما اذا كانت الطبيعة تقدم لنا تلك الظواهر بنفس الدقة. كان يريد من النظرية - او الفرضية - **ان تكون شاملة ودقيقة ومعبرة اقوى تعبير عن وقائع التجربة**. ولم يكن يتردد في تعليق الفرضية اذا ظهر انها لا تتوافق مع معطيات التجربة توافقا تاما. وكما ذكرنا قبل. فلقد توقف في موضوع تفسير انجذاب القمر نحو الارض عدة سنين عندما تبين له ان حساباته لم تكن تتوافق مائة في المائة مع ما كان معروفا حول قياس شعاع الارض. الشيء الذي لم يكن ليفعله ديكارت او اي فيلسوف اخر يستحوذ عليه التعميم ويقلل من شأن الفروق البسيطة.

ان الفرق بينه وبين ديكارت، في مجال استعمال المنهاج الفرضي الاستنتاجي يمكن تلخيصه كما يلي: كان ديكارت يشترط - كما رأينا قبل - ان تكون « المبادىء » واضحة وضوحا عقليا، وان تكون الاشياء الاخرى مستنتجة منها. بحيث يمكن معرفة الاولى (المبادىء)بدون الثانية (النتائج) .ولكن دون ان يكون في الامكان معرفة الثانية بدون الاولى. اما نيوتن فهو يلح على ضرورة عدم افتراض اي شيء قبل البرهنة عليه والتأكد منه بالتجربة. فهو لم يكن يقبل بالفرضية الا بعد ان تصبح حقيقة علمية. كان يقول: « **أنا لا افترض، بل ابرهن** ». وعلى هذا الاساس كان يميز بين الاستقراء بوصفه اداة للتعميم والاستنتاج بوصفه الوسيلة التي تمكن من اقرار النتائج الصحيحة. بل انه ذهب الى ابعد من هذا، وقال. على عكس العرف السائد: « **اني استنتج الاسباب من النتائج** ».

وكما وضع ديكارت قواعد أربع لهداية العقل، وهي قواعد معروفة مبنية على فكرة البداهة والحدس، وضع نيوتن أربع قواعد « يجب اتباعها في البحث في الفلسفة » (وهو يقصد الفلسفة الطبيعية اي الفيزياء). وهذه القواعد هي:

1- « يجب ان لا نقبل من الاسباب الا تلك التي تبدو ضرورية لتفسير الطبيعة. فالطبيعة لا تتصرف عبثا. وسيكون مما لا فائدة فيه الاخذ بعدد كبير من الاسباب عند تفسير ما يمكن تفسيره بأقل عدد منها ».

2 - « ان النتائج التي هي من نفس النوع يجب ان تعزى دوما وكلما كان ذلك ممكنا، لنفس السبب، وهكذا فتنفس الانسان وتنفس الحيوان، وسقوط الحجر في اوروبا وسقوطه في امريكا، وضوء النار هنا على الارض والضوء المنبعث من الشمس، وانعكاس الضوء على الارض وانعكاسه على الكواكب، كل ذلك يجب ان يعزى، بالتتابع، الى نفس الاسباب ».

3 - « ان الكيفيات التي تتصف بها الاشياء، والتي لا تقبل الزيادة ولا النقصان، والتي نلاحظها في جميع الاجسام التي يمكننا التجريب عليها، يجب ان ينظر اليها بوصفها كيفيات تعم جميع الاجسام على الجملة، ان خصائص الاجسام وكيفياتها لا تعرف الا

بالتجربة، ويجب ان ننظر الى الكيفيات التي توجد في جميع الاجسام والتي لا تقبل النقصان، ككيفيات عامة، لانه من المستحيل تعرية الاجسام عن الخصائص التي لا يمكن الانقاص منها. يجب ان لا نعارض التجارب بالاحلام، وان لا نتحلى عن المماثلة والمقايسة في الطبيعة، فهي بسيطة ومماثلة لنفسها دوما....

4 - «في الفلسفة التجريبية اي الفيزياء يجب النظر الى القضايا المستخلصة من الظواهر. على الرغم من الفرضيات المضادة. كقضايا صحيحة تماما. او قريبة من الصحة. الى ان تؤكدها بعض الظواهر الاخرى تأكيدا تاما، او تكشف عن كونها موضوع استثناءات».

ان الحاح نيوتن على عدم المجازفة بأية فرضية الا اذا ايدتها التجربة سلفا، جعله اقرب ما يكون الى الوضعيين الذين كثيرا ما صرحوا بانتمائه اليهم، بل ان اوكست كونت كان يتخذ من قانون الجاذبية الذي قال به نيوتن، نموذجا لما يجب ان يكون عليه التفكير الموضعي، هذا من جهة، ومن جهة اخرى، فان ايمانه الاكيد بأن قوانينه تستخلص من الظواهر، ومنها وحدها، قد جعله يثق فيها ثقة مطلقة ويعرضها كقوانين تفرض نفسها على العقل. وتلك نزعة وثوقية (دوجماتية) مغالية مخالفة للروح العلمية.

مع ذلك، بل لربما بسبب من ذلك، تعرضت كثير من المبادىء والافكار التي بنى عليها فلسفته الطبيعية لاعتراضات كثيرة، مما اثار مناقشات واسعة عريضة بينه وبين انصاره من جهة، وبين خصومه ومخالفيه في الرأي من جهة ثانية، ولعل اكثر «المبادىء» النيوتينية التي دار حولها نقاش كبير وحاد، فكرة الجذب ذاتها، وفكرة الزمان المطلق والمكان المطلق.

لقد عارض الديكارتيون نظرية الجاذبية، لان فكرة الجذب، اي التأثير عن بعد، وبدون واسطة، فكرة غير واضحة بذاتها. فهي لا تتصف بالمعقولية - في نظرهم - ولذلك رفضوا اتخاذها مقدمة للاستدلال اما نيوتن وانصاره فقد كانوا يقولون، سواء كانت هذه الفكرة واضحة بذاتها ام لا، سواء كانت بديهية ام لم تكن، فان مبدأ الجاذبية يفرض نفسه علميا. لان حقيقته وصدقه تؤكدهما التجربة. والواقع أن الديكارتيين لم يكونوا يرفضون فكرة الجذب، اي التأثير عن بعد، التي كانوا يشبهونها بالافكار السحرية، لكونها لم تكن فكرة واضحة كما كانوا يقولون، بل لانها فكرة مبنية على القول بوجود الفراغ. وبالتالي فهي لا تنسجم مع الميكانيكا الديكارتية المبنية على فكرة الامتداد.

وعلى الرغم من ان نيوتن يتمسك بفكرة الجذب كمعطى تجريبي. فانه لم يتردد في اقحام الميتافيزيقا في تفسير طبيعة الجاذبية نفسها، وهنا يبدو الوجه الآخر من شخصية نيوتن: كان من بين المسائل التي دار النقاش حولها يومئذ بسبب نظرية الجاذبية. مسألة ما اذا كان الجذب خاصية ذاتية للمادة مثل الامتداد والحركة والصلابة ام انها شيء خارج عن صفاتها الاساسية هذه. والرأي الذي أدلى به نيوتن، منساقامع هذا الطرح الميتافيزيقي

للمسألة، هو ان الجاذبية ليست صفة ذاتية ولا ضرورية للمادة. فهو يرى ان الله عندما خلق المادة، خلقها مع صفاتها الاساسية (الامتداد والحركة) الشيء الذي نتج عنه عالم يسير سيرا ميكانيكيا بالشكل الذي قال به ديكارت. لكن - يقول نيوتن - لكي يكون العالم كما هو عليه فعلا، اضاف الله الى هذه الطبيعة الميكانيكية للعالم، خاصية جديدة، بموجبها تنجذب الاشياء الى بعضها. **وهكذا يكون العالم خاضعا لقوتين: قوة القصور الذاتي التي هي ملازمة للمادة وكامنة فيها، وقوة الجذب وهي خارجة عنها**. يقول نيوتن: «ان القول بأن الجاذبية خاصة ملازمة للمادة وضرورية لها، بحيث يمكن لجسم ما ان يؤثر في جسم آخر عن بعد، وفي الفراغ، وبدون توسط جسم ثالث ينقل التأثير اليه، قول ينطوي في نظري على سخافة هي من الوضوح بحيث لا يمكن ان يقع فيها من كانت له القدرة على البحث الفلسفي (أي البحث في فلسفة الطبيعة = الفيزياء). ان الجاذبية يجب ان يكون سببها فاعل يمارس فعله دائما حسب بعض القوانين. وانا اترك للقراء ان يقرروا فيما اذا كان هذا الكائن ماديا او غير مادي»(3).

وعلى الرغم من ان كلام نيوتن هنا يوحي بأنه محايد في هذه المسألة او أنه مادي يخفي ماديته، فان الحقيقة هي بالعكس من ذلك تماما: **فلقد تصور نيوتن المادة والحركة منفصلتين**. الحركة عنده حركة خارجية فقط. ولذلك، فعندما فسر الحالة الراهنة للعالم بالجاذبية (حركة الكواكب والنجوم ناتجة عن جاذبية الشمس) اعترضه سؤال أساسي، وهو: «كيف وضعت هذه الاجرام في اماكنها ابان بدء حركتها؟». وهنا لم يتردد في اللجوء الى فرضية ميتافيزيقية قيل بها من قبل، وهي «**الدفعة الاولى**».

هذا من جهة، ومن جهة اخرى سمح نيوتن لنفسه، على الرغم من تقيده الصارم بالتجربة، بافتراض وجود مادة لطيفة، هي **الاثير**، تخترق جميع الاجسام وتنساب فيها. ثم زعم انه بواسطة تأثير هذه المادة اللطيفة تنجذب جسيمات الاجسام بعضها الى بعض في المسافات القصيرة جدا، فتتماسك تلك الجسيمات عندما تكون متشابهة وتشكل الاجسام المادية المعروفة. ثم انه بواسطة هذا الاثير تؤثر الاجسام الكهربائية عندما تكون بعيدة، سواء في حالة الجذب او في حالة النبذ. وبواسطته ايضا ينتشر الضوء وينعكس وينكسر، وتسخن الاجسام، وتنبه الاعضاء والحواس، وينتقل الاحساس الى الدماغ.. الشيء الذي يجعل هذا الاثير اشبه ما يكون بمادة سحرية.

وأكثر من ذلك، وأهم منه، ان نيوتن اسس فكرته عن الزمان المطلق والمكان المطلق والحركة المطلقة على فرضية الاثير هذه. فلقد تصور ان الكون يسبح في فضاء محيط هو عبارة عن بحر من الاثير، فضاء ساكن سكونا ابديا. فاعتبره المكان المطلق، واعتبر حركات الاجسام بالنسبة الى هذا المكان المطلق، حركات مطلقة، الشيء الذي يؤدي الى

---

3. Newton: Principes mathématiques de la philosophie naturels. trd: Mme du Châtelet.
انظر نصوصا لنيوتن في: بلانشي، المرجع المذكور.

القول بوجود زمان مطلق كذلك. (انظر في قسم النصوص آراء نيوتن في هذا الموضوع).

* * *

هكذا يمكن القول اجمالا ان فيزياء نيوتن هي كفيزياء ديكارت، ذات بطانة ميتافيزيقية لاهوتية. ولكنها تمتاز عنها بنزعتها الوضعية التي اشرنا اليها. ذلك لان فيزياء نيوتن تفرض نفسها علينا - كما يقول بلانشي - كحقيقة علمية وبامكاننا ان نرفض القيام بالخطوة الاخيرة، (اي الانتقال الى الميتافيزيقا، والقول بـ«الدفعة الاولى»، و«بحر الاثير الساكن». اما فيزياء ديكارت فهي تفرض علينا منذ البداية ما انتهى اليه نيوتن، اي التسليم بأساسها الميتافيزيقي.

لقد انطلق ديكارت من وجود الله ليثبت وجود العالم ويؤكد صحة قوانينه، اما نيوتن فقد فعل العكس: انطلق من العالم وقوانينه ليصل الى الله.

ومهما يكن من هذا الجانب اللاهوتي الميتافيزيقي في تفكير نيوتن، وهو جانب رافق العلم الحديث منذ نشأته، ولا زالت اثاره تظهر من حين لآخر، لدى هذا العالم او ذاك، فان الواقع التاريخي يؤكد ان نيوتن قد ارسى العلم الحديث على قوانين عامة مكنت من فرض هيمنة العلم على مختلف المجالات، حتى الدينية منها، مما كانت نتيجته تلك النزعة الوثوقية التي عرفها العلم في أواخر القرن الثامن عشر والنصف الاول من القرن التاسع عشر، والتي حملت كثيرا من العلماء والفلاسفة على الاعتقاد بأن في مستطاع العلم تفسير جميع الظواهر باختلاف انواعها، ما كبر منها وما صغر، ما ظهر منها وما خفي، فكانت نزعة علموية Scientisme رفعت العلم النيوتني الى أسمى الدرجات، وأقامت على أساسه فلسفات «علمية» حاولت ان تفلسف مختلف جوانب الكون والحياة حتى العلم ذاته، كما سنرى في الفصل التالي.

# الفصل الثالث

## بين الوقوف عند القوانين والبحث عن الاسباب

## (دالامبير، اوكست كونت، وويل، كلود بيرنار)

لقد تبين لنا من خلال المناقشات التي عرضنا لجوانب منها في الفصل السابق، والتي دارت بين اتباع الديكارتية من جهة، ونيوتن وأنصاره من جهة ثانية، ان محور الخلاف بين الفريقين كان يدور حول الفرضيات: طبيعتها، ومصدرها ودورها. هل نعتمد فيها على العقل «والبداهة العقلية»، وبالتالي نعتبرها مقدمات يقينية - مع ما يلزم عن ذلك من نتائج، ام انه يجب ان نستوحيها من التجربة، والتجربة وحدها؟.

ان هذا النقاش يعكس في الحقيقة وجهتي نظر متعارضتين - رافقتا تاريخ العلم الحديث منذ نشأته - حول دور الفكر في البحث العلمي ومدى قدرة الانسان على تفسير ظواهر الطبيعة تفسيرا يتسق، على الاقل، مع معطيات الواقع، ان لم يعبر عن حقيقته و«جوهره». وجهة النظر الاولى تنتمي بشكل او بآخر الى الديكارتية، فهي **اتجاه عقلاني** يعطي الاولوية للعقل في عملية المعرفة. اما وجهة النظر الثانية فهي امتداد للنزعة النيوتونية **التجريبية** تمنح الاولوية للتجربة وتحصر دور العقل في التحليل والتركيب. الاتجاه الاول يرى ان الهدف الحقيقي للعلم هو الوصول الى **الاسباب** التي تفسر الظواهر الطبيعية. أما الاتجاه الثانى فيلح على ضرورة وقوف البحث العلمي عند حد الكشف عن العلاقات التي تربط الظواهر، اي **القوانين**، معتبرا الجري وراء الاسباب من بقايا التفكير الميتافيزيقي.

واذا كانت النزعة النيوتونية قد شكلت بالنسبة لعصرها مرحلة تقدمية(1) بالقياس الى النزعة الفلسفية عموما، من حيث انها كانت ترغب في تخليص العلم من المفاهيم والتصورات الميتافيزيقية، فانها تحولت، فيما بعد، لتشكل اساسا «علميا» لاتجاهات **ميكانيكية** متطرفة،

(1) يمكن النظر الى النزعة النيوتينية والاتجاهات التجريبية التي رافقتها او ارتكزت عليها من حيث انها شكل من اشكال التعبير الايديولوجي عن موقف البورجوازية الاوروبية آنذاك في صراعها مع الفكر الاقطاعي ومسلماته الغيبية. ان التمسك بالتجربة وحدها كان هدفه رفض الاسس اللاعقلانية التي كانت الايديولوجيا الاقطاعية ترتكز عليها.

وأخرى وضعية حاولت «تقنين» البحث العلمي واقامة حواجز امامه «لا يجوز» تخطيها، حاصرة مجال المعرفة البشرية في الظواهر والعلاقات التي تقوم بينها.

لقد سادت هذه النزعة التجريبية - الوضعية في النصف الثاني من القرن الثامن عشر والنصف الاول من القرن التاسع عشر، فشنتها حملة شعواء على الانساق الفلسفية والفروض الميتافيزيقية. لكن هذا لا يعني ان النزعة العقلانية الديكارتية قد صفيت تماما، في ذلك الوقت، بل لقد بقيت تدافع عن نفسها، خاصة في فرنسا حيث ظهرت اتجاهات عقلانية تقاوم النزعة التجريبية الانجليزية في مجالات العلم والفلسفة. وهكذا شهد النصف الثاني من القرن الثامن‌عشر ما عرف بـ« الميكانيكا العقلية » (أو النظرية) Mećanique rationnelle التي حمل لواءها العالم والفيلسوف الفرنسي جان دالامبير، كما سطع في نفس الفترة نجم لابلاس الذي حاول من جهته اضفاء مزيد من الاتساق والكمال على النظام الكوني الذي شيده نيوتن، «مستلهما في ذلك رحابة الفكر الديكارتي». اما في القرن التاسع عشر فلقد كانت السيطرة في فرنسا لوضعية اوكست كونت. غير ان النصف الثاني منه شهد قيام اتجاه ايبستيمولوجي جديد، في فرنسا وانجلترا معا، يعلي من شأن الفرضية، ويبرز دور العقل وقدرته على تفسير الظواهر وبيان اسبابها، ناظرا الى عملية المعرفة نظرة جدلية قوامها حوار بين الفكر والواقع لا ينقطع ولا يقف عند حد معين. ولقد كان العالم الانجليزي وويل، والعالم الفرنسي كلود بيرنار، كلا على حدة، من المؤسسين الاوائل لهذا الاتجاه الجديد التي تعتبر الايبستيمولوجيا المعاصرة امتدادا له. وسنحاول في هذا الفصل ان نلم بشيء من التفصيل بالافكار الرئيسية التي روجتها هذه الاتجاهات الفلسفية في ميدان العلم، سواء على صعيد المنهاج، او على صعيد النظرية.

## 1) دالامبير والميكانيكا العقلية

حاول دالامبير Jean d'Alembert (1717-1783) ان يجد لكل من النزعة الديكارتية والنزعة النيوتونية مكانها الخاص في العلم، ففصل بين الفيزياء بوصفها علما تجريبيا يجب ان يسير فيه العمل على نهج نيوتن، وبين الميكانيكا بوصفها علما عقليا، كالنهدسة، يجب ان يبنى على مبادىء عقلية ضرورية، اي على الافكار الواضحة المتميزة التي تفرض نفسها على العقل، كما يقول ديكارت، ولكن دون اللجوء الى الفرضيات الميتافيزيقية.

يرى دالامبير ان هدف البحث العلمي هو الكشف عن العلاقات التي تربط بين الظواهر التي هي موضوع احساساتنا. وعليه فان معرفة الطبيعة لا تتأتى بالفرضيات «الجدباء» التي يدلى بها بشكل اعتباطي تعسفي، بل بدراسة ظواهر الطبيعة دراسة عميقة مع مقارنة بعضها ببعض قصد ارجاعها الى أقل عدد ممكن من المبادىء. فالمبادىء، عندما تكون قليلة العدد، تكون اكثر عمومية. وبعبارة اخرى: **كلما قللنا من عدد المبادىء التي يقوم عليها علم ما، الا وكان مجال تطبيقها اوسع.** ذلك هو السبيل الذي يمكننا من تشييد صرح المعرفة العلمية وصياغتها في انساق علمية اكثر جدوى وأكثر

مطابقة للواقع من الانساق الفلسفية الميتافيزيقية. واذا كانت هذه الاخيرة قد سادت من قبل، هي والفرضيات التخمينية التي كانت اساسا لها، فلانها كانت ضرورية ومفيدة في وقت لم يكن المطلوب فيه ان يفكر الناس بكيفية افضل، بل فقط ان يفكروا بحرية، بعيدا عن الاتباع والتقليد(2).

على اساس هذه الفكرة حاول دالامبير ان يشيد ميكانيكا عقلية برهانية اعتمد فيها على ثلاثة مبادىء، هي:

1 - **قانون العطالة** وهو يدرس الحركة المنتظمة المستقيمة، وانواع العوائق التي تحول دونها ودون الانتظام والاستقامة، مثل القوى الجاذبة والقوى النابذة.

2 - **قانون تركيب القوى** وهو يدرس الحركة غير المنتظمة وغير المستقيمة، اي القوى التي تغير من انتظام الحركة واتجاهها.

3 - **قانون التوازن الحركي للاجسام**، وهو يرجع في شكله البسيط الى تساوي كتل الاجسام مع سرعتها.

ويرى دالامبير ان هذه المبادىء ترجع الى «فكرة بسيطة واضحة وضوحا عقليا». وهي ان حركة جسم ما ترجع في نهاية التحليل الى كونه **يقطع مسافة معينة في زمن معين. ولذلك كانت قوانين الحركة تدور دوما حول موضوع واحد، هو العلاقة بين المسافة والزمن**. وعلى هذا الاساس صاغ دالامبير ميكانيكا عصره صياغة اكسيومية مبرهنا على ان الميكانيكا علم عقلي برهاني يقوم على مبادىء عقلية ضرورية.

كانت اكاديمية برلين قد طرحت على العلماء والفلاسفة سؤالا حول ما اذا كانت مبادىء الميكانيكا حقائق ممكنة ام حقائق ضرورية. وقد اجاب دالامبير عن هذا السؤال مبتدئا بالفصل في الجانب الميتافيزيقي اللاهوتي من السؤال وهو الجانب الذي صاغه كما يلي: هل حركة المادة من صنع الله (واذن فهي ممكنة، الامكان هنا عكس الضرورة) ام انها من نتاج قوانين الطبيعة نفسها (وبالتالي فهي ضرورية)؟ يرى دالامبير انه يجب ان لا يفهم من هذا السؤال ان خالق الطبيعة يمكنه ان يجعل حركة الطبيعة على غير ما هي عليه، فتلك مسألة بديهية تلزم عن تسليمنا بوجود الخالق. فكما ان الانسان يستطيع ان يغير او يعدل حركات اعضاء جسمه فكذلك خالق الطبيعة يستطيع ان يجعل حركات الاشياء فيها على غير ما هي عليه. ان الطرح العلمي للمسألة يجب ان يكون كما يلي: هل تختلف قوانين الحركة والتوازن الحركي التي نشاهدها في الطبيعة عن تلك التي تتحرك المادة وفقها اذا تركت لنفسها؟.

(2) يسجل دالامبير هنا مرحلة من تطور ايديولوجيا البورجوازية الغربية. لقد تمت تصفية الحساب مع الفكر الاقطاعي، ولذلك لم يعد من الضروري اشاعة الحرية بلا قيد، ان المرحلة الجديدة التي يعبر عنها دالامبير هنا هي مرحلة فرض الايديولوجيا البورجوازية على المجتمع كله، كايديولوجيا واحدة مقننة تتمتع «بالتمسك الداخلي». ولكن انى لها بهذا التماسك وهي تضطر دوما الى تعديل نفسها تحت ضغط التطور.

ان وضع السؤال بهذا الشكل يجنب الباحث الانشغال بالامور الميتافيزيقية، ويدفعه الى الكشف اولا، وبواسطة عقله، عن القوانين التي تسير المادة بمقتضاها، عندما تترك لوحدها، ثم الى البحث ثانيا، وبواسطة التجربة، عن القوانين التي تسير وفقها فعلا حركات الاجسام في الطبيعة. فاذا وجد الباحث ان حركة المادة التي يتم له الكشف عنها بواسطة عقله تختلف عن قوانين العالم التجريبي التي يستخلصها بواسطة التجربة، استنتج ان قوانين الميكانيكا كما تقدمها لنا الطبيعة قوانين ممكنة، اي انها عبارة عن ارادة الخالق الحرة. اما اذا وجد ان قوانين التجربة تتفق تماما مع قوانين العقل فعليه ان يستنتج ان قوانين الميكانيكا قوانين ضرورة، غير ان هذا ليس معناه ان الخالق لا يستطيع ان ينشىء قوانين مخالفة، بل كل ما هناك ان الخالق لم ير ضرورة في خلق قوانين اخرى غير تلك التي تنتج عن وجود المادة نفسها. ويبرهن دالامبير عن ان وجود المادة يقتضي وجود القوانين الثلاثة المذكورة التي بنى عليها صرح ميكانيكاه العقلية، وان التجربة تبين ان العالم تحكمه هذه القوانين نفسها، ومن ثمة ينتهي الى القول بان قوانين الميكانيكا قوانين ضرورية. اما عن الاعتراض القائل: ان حكمة الخالق قد اقتضت ان لا يخلق قوانين اخرى غير تلك التي تسير الطبيعة وفقها فعلا، فان دالامبير لا يقدم جوابا بل يكتفي بالقول: ان العقل البشري لا يدرك طبيعة الخالق كما هي بالضبط، وبالتالي فانه لا يستطيع ان يتعرف على حكمته(3).

يمكن ان نربط المناقشة السابقة بقضية السببية بوجه عام، وبفكرة الحتمية الكونية بوجه خاص، تلك الفكرة التي نادى بها لابلاس Laplace (1749–1827) وشرحها في كتابه: « الميكانيكا السماوية » الذي حاول فيه اضفاء مزيد من الاتساق والكمال على النظام الكوني الذي صاغه نيوتن. يرى لابلاس ان الكون خاضع لحتمية عامة، وان بامكان الانسان اذا عرف سلسلة الاسباب التي تحرك الكون، ان يتنبأ بما سيحدث في كل مجال من مجالاته الرحبة، بل بوسعه ايضاً أن يتعرف على جميع الحوادث والتطورات التي رافقته منذ نشأته. ان المبدأ الذي ينطلق منه لابلاس هو التالي: لا شيء الا وله سبب متقدم عليه، والارادة الحرة التي توجه الاحداث لا بد ان يكون وراءها سبب، والا تكافأت الدوافع وبطلت الحركة. ان حالة العالم اليوم هي نتيجة لحالته سابقا، وسبب لحالته مستقبلا، فلا مكان لمبدأ متعال نرجع اليه الحركة في العالم. كان لابلاس يقول: « انا لست في حاجة الى افتراض الله »، فقوانين الحركة تكفي لتفسير العالم كما هو، وكما كان، وكما سيكون(4).

## 2) أوكست كونت والفلسفة الوضعية

لم يكن اوكست كونت Auguste Comte (1798–1857) عالما تجريبيا، وانما كان

(3) انظر نصوصا لدالامبير في هذا الموضوع في كتاب بلانشي المشار اليها آنفا.
(4) انظر فى قسم النصوص نصا للابلاس حول الموضوع.

فيلسوفا ومفكرا اجتماعيا عاش في عصر سادت فيه النزعة العلموية الوثوقية التي اشرنا اليها قبل، فاستمد منها فلسفته الوضعية التي حاول ان يبرهن فيها على ان المرحلة العلمية التي وصلها الفكر البشري في عصره هي اعلى المراحل وقمة التطور.

استعرض اوكست كونت المراحل التي اجتازها الفكر البشري - في نظره - منذ صوره البدائية الاولى الى الحالة الراهنة (في عصره)، فصاغ ماأعتقد انه يشكل القانون العام لتطوره، محاولا البرهنة على صحة هذا القانون من اوجه مختلفة كما سنرى بعد قليل.

ينص «القانون العام لتطور الفكر البشري» الذي صاغه، اوكست كونت على ان جميع تصورات بني البشر وجميع فروع معارفهم تمر عبر ثلاث حالات نظرية مختلفة، هي: الحالة اللاهوتية (او الاسطورية، الخيالية)، والحالة الميتافيزيقية (او المجردة) والحالة الوضعية (أو العلمية). وبعبارة اخرى يرى اوكست كونت ان الفكر البشري يستعمل بطبيعته، في كل ما يعرض له، وفي كل بحث يقوم به، طرقا متتابعة ثلاثة، تختلف فيما بينها وتتعارض على الرغم من ان السابق منها يؤدي الى اللاحق ضرورة. ومن هنا ثلاثة انواع من الرؤى التي تتناول الظواهر، ينفي كل منها الاخرى: الاولى تشكل نقطة انطلاق الفكر البشري، والثالثة تشكل نهايته ومبتغاه. واما الثانية (أو الوسطى فهي مرحلة انتقالية).

- **في الحالة اللاهوتية** يلجأ الفكر البشري الى البحث عن طبائع الاشياء، عن اسبابها الفاعلة واسبابها الغائية، ناشدا المعرفة المطلقة، متصورا الظواهر على انها نتاج فعل مباشر ومتواصل تقوم به كائنات عليا، فوق - طبيعية، يكثر عددها أو يقل، هي المرجع الاخير في كل ما يحدث في العالم من تغيرات وتقلبات. لقد بلغت هذه المرحلة اللاهوتية اوجها عندما احلت مكان الآلهة المتعددة إلهاً واحدا: فبالانتقال تدريجيا من الفيتيشية وعبادة الاصنام، إلى تعدد الآلهة، الى عبادة اله واحد، اخذت الآلهة تبتعد عن الظواهر الطبيعية لتتحول الى آلهة مجردة، ثم اهتدت الانسانية بعد ذلك الى الاعتقاد باله واحد، فتحررت الطبيعية مما حيك حولها من الاساطير وأصبحت قابلة للدراسة العلمية، وغدا القول بقوانين طبيعية مقبولا، كما هو الشأن في الحالة الوضعية. وفي هذا الاطار شهدت القرون الوسطى محاولات للتوفيق بين ثبات القوانين وفكرة الله. غير ان هذه المحاولات كانت فاشلة، وما كان لها الا ان تفشل، لان الفكر الوضعي الذي عمل على تقدم الفكر اللاهوتي هو في ذات الوقت خصم له ونقيض، فكان لا بد ان يختفي الفكر اللاهوتي كلية ويحل محله الفكر الوضعي، ولكن اختفاء الفكر اللاهوتي اختفاء تاما لا يتم بشن معركة عليه، بل بظهور عجزه وعدم صلاحيته، **لان العقائد لا تختفي الا عندما تصبح غير صالحة.**

- اما في **الحالة اللاهوتية** التي ليست في حقيقة امرها سوى تعديل للحالة الاولى، فان الكائنات العليا تعوض بقوى مجردة اي بـ«الخصائص الملازمة للاشياء» التي يعتقد في قدرتها على تفسير جميع الظواهر. وهكذا اصبح تفسير الطبيعة ميسورا، اذ يكفي ان

تنسب الى الظواهر، او الاشياء خصائص او طبائع ذاتية. وقد تطورت الحالة الميتافيزيقية بدورها من مرحلة التعدد، تعدد الخصائص والمفاهيم، الى مرحلة الوحدة، وحدة الطبيعة بوصفها مظهرا لجميع الظواهر.

- **وأما الحالة الوضعية**، وهي آخر مراحل التطور، في نظر اوكست كونت، فهي المرحلة التي اقتنع فيها الفكر البشري باستحالة الوصول الى معارف مطلقة، وبضرورة التخلي عن البحث عن الاسباب الخفية الكامنة وراء الظواهر، والانصراف الى البحث عن القوانين فقط، بواسطة الملاحظة والاستدلال. والمقصود بالقوانين، تلك العلاقات اللامتغيرة الضرورية التي تقوم بين الظواهر المتشابهة والحوادث المتتابعة. ان تفسير الظواهر يصبح مقصورا، اذن، على الكشف عن الرواية التي تربط بين الحوادث الجزئية وبعض الحوادث العامة، بارجاع بعضها الى بعض، الشيء الذي يجعل التفكير الوضعي يتجه هو الآخر من التعدد الى الوحدة، من كثرة القوانين الى قانون عام واحد، تفسر به جميع الظواهر، كقانون الجاذبية مثلاً.

هذه الحالات الثلاث طبيعية تماما، في نظر صاحبنا، وهو يبرهن على صحتها عقليا واجتماعيا وتاريخيا. فمن الناحية العقلية - السيكولوجية يرى ان الفلسفة اللاهوتية كانت ضرورية لتفسير الطبيعة في المرحلة الابتدائية من تطور الفكر البشري لانها مرحلة «طبيعية» أكثر من غيرها، فهي لا تفترض اية مرحلة سابقة عليها. وهذا واضح لانها تقوم على فهم الظواهر بوصفها ناتجة عن ارادة مشابهة للارادة الانسانية. والانسان يشعر، قبل كل شيء بقواه الجسمية ويقيس عليها الحوادث الطبيعية وغيرالطبيعية. واذن، فلقد كانت هذه المرحلة ضرورية لحمل الانسان على مواجهة العالم وايقاظ قواه العقلية للسيطرة على الطبيعة.

أما من الناحية الاجتماعية، فان اوكست كونت يبرهن على معقولية الحالة اللاهوتية كما يلي: انه كان لا بد من وجود مجموعة من المعتقدات المشتركة بين الناس حتى يتأتى قيام جماعات بشرية منظمة. ولقد قدم الفكر اللاهوتي هذه المعتقدات المشتركة الضرورية لتوحيد الجماعات، كما عمل على افراز طبقة كهنوتية انصرفت الى البحث النظري، مما كانت نتيجته نشأة العلم والفلسفة.

واذا نحن تصفحنا تاريخ العلوم، وهذه هي البرهنة التاريخية على قانون الحالات الثلاث، وجدناه يشير بوضوح الى ان الامور قد تمت هكذا، اذ ليس فيه ما يدل على ان التطور حدث بالعكس. ليس هناك اي علم وصل الآن المرحلة الوضعية دون ان يكون قد مر بمرحلة سيطرت عليه فيها تصورات ميتافيزيقية. واذا رجعنا القهقرى اكثر، وجدناه خاضعا لتصورات لاهوتية. واكثر من ذلك يمكننا ان نلاحظ ان ارقى العلوم، اليوم، ما زالت تحتفظ بين مفاهيمها وتصوراتها ببعض آثار المرحلتين السابقتين. والانسان نفسه كفرد، يمر في حياته الفكرية بمراحل مشابهة: **مرحلة الطفولة** التي تسيطر فيها على المفاهيم

والتصورات اللاهوتية - الاسطورية الخيالية، ومرحلة الشباب التي تهيمن فيها عليه التصورات الميتافيزيقية، ثم مرحلة الكهولة التي تنتصر فيها الواقعية وتسود النظرة العلمية.

الحالة الوضعية، اذن، هي قمة تطور الفكر البشري. ليكن ذلك. ولكن ما نوع المنهج الذي يسود فيها، او يجب ان يسود؟.

لقد سبق ان قلنا ان الحالة الوضعية تقوم اساسا على اعتبار الظواهر خاضعة للقوانين، وان مهمة البحث العلمي هي العمل على الكشف عن هذه القوانين، اي بيان شروط وجود الظواهر، لا اسبابها الاولى والاخيرة. ان المهم والاساسي - في نظر أوكست كونت، هو بيان كيف يحدث الشيء، لا البحث في «لماذا يحدث».

نعم ان البحث العلمي الذي يعتمد الاستقراء والاستنتاج، لا يمكن ان يمارس بشكل مثمر الا اذا كانت هناك فكرة موجهة، اذ لا بد من ادخال الفرضية في «الفلسفة الطبيعية» (= الفيزياء). ولكن استعمال الفرضية يجب ان يخضع لشرط اساسي هو: «أن لا نضع من الفرضيات الا ما يقبل التحقق الوضعي عاجلا او اجلا». ان الفرضية، بهذا الاعتبار يجب ان تكون مجرد سبق لما ستمدنا به التجربة. والفرضيات التي ليست من هذا النوع ليست وضعية، هناك اذن نوعان من الفرضيات: نوع يتناول الظواهر للكشف عن العلاقات القائمة بينها، وهذا هو ما يجب ان يكون. ونوع يحاول ان يبين ان جميع الظواهر ترتد الى أسباب فاعلة عامة، وهذا غير مقبول في العلم، وغير مفيد. فماذا يفيدنا تصور مادة لطيفة كالاثير نفسر بها حركة الضوء او حدوث الامتداد بالحرارة؟[5].

ان البحث في ما وراء الظواهر وفي «ما تحت» العلاقات غير مشروع في نظر اوكست كونت، ونظر الوضعيين عموما. فهل يؤيد تاريخ العلم دعواهم؟.

لنكتف بالقول ان ما كان يعتبر في عهد اوكست كونت من الامور الخفية التي يجب ان لا يخوض العلم فيها قد كشف العلم سره الآن، بل وقبل الان، واصبحت تلك الاشياء «الخفية» مثل الذرة والكهرباء والحرارة من جملة الحقائق العلمية الواقعية التي تقوم عليها الحضارة المعاصرة.

## 3) جون ستيوارت ميل و«قواعد الاستقراء»

وكما حاول اوكست كونت وضع قانون عام لتطور الفكر البشري اراد جون ستيوارت ميل J.S. Mill (1806-1873) من جهته صياغة قواعد للاستقراء تكون للمنهاج التجريبي بمثابة الاضرب والاشكال للقياس الارسطي. وكما كان اوكست كونت متخلفا بالنسبة لكثير من جوانب التقدم التي حققها الفكر العلمي في عصره وجاهلا لكثير من المكتشفات

(5) Auguste Conte. Cours de Philosophe positive. T. 1 et T. 2. Librairie Garniers Frères. Paris 1926. (Introduction et commentaire par ch. la Vernier) Coll. classique Garenir.

العلمية في ميدان ما كان يسميه بالامور «الخفية»، كان جون ستيوارت ميل اكثر تخلفا عن عصره في مجال البحث العلمي التجريبي واسسه ومنهاجه مما جعله - في رأي كثير من النقاد - اقرب الى فرانسيس بيكون منه الى جاليلو او نيوتن.

أراد جون ستيوارت ميل ان يضع للمنهاج التجريبي قواعد - او لوائح - مثلما فعل بيكون، تكون بمثابة الخطوات الضرورية التي لا بد للباحث المجرب من السير على هداها حتى يتمكن من اكتشاف الروابط الضرورية، اي العلاقات السببية - القوانين - التي تقوم بين الظواهر. انها قواعد تضبط، في نظره السبل التي تنتقل بالفكرة من مستوى الفرضية الى مستوى القانون.

وهذه القواعد، او السبل (سبل تحقيق الفرضية) هي:

1 - **طريقة الانفاق** وتنص على ما يلي: «اذا اشتركت حالتان او اكثر، من حالات الظاهرة موضوع الدرس، في امر واحد، فان هذا الذي تتفق فيه وحدة جميع الحالات هو علة الظاهرة».

2 - **طريق الاختلاف**، ونصها كما يلي: «اذا كانت هناك حالتان تبدو الظاهرة في احداهما ولا تظهر في الاخرى، وكانتا تشتركان في جميع الامور سوى امر واحد تنفرد به الحالة التي تبدو فيها الظاهرة، فان هذا الامر الذي تختلف فيه الحالتان المذكورتان هو علة الظاهرة او نتيجتها او جزء ضروري من سببها».

3 - **الطريقة المختلطة**: «اذا اشتركت حالتان او اكثر، من حالات ظهور الظاهرة في امر واحد فقط، بينما لم تشترك حالتان او اكثر من حالات عدم ظهور الظاهرة الا في غياب هذا الامر الواحد، فان هذا الذي تختلف فيه وحده المجموعة الاولى عن المجموعة الثانية هو علة الظاهرة او نتيجتها او جزء ضروري من سببها».

4 - **طريقة البواقي**: «اذا كانت لدينا ظاهرة ما، وسحبنا منها الجزء الذي تبين لنا بواسطة استقراء سابق انه نتيجة عوامل معينة، فان ما يتبقى في الظاهرة هو نتيجة العوامل المتبقية».

5 - **طريقة التلازم في التغير**: ان الظاهرة التي تتغير بشكل معين كلما تغيرت ظاهرة اخرى بنفس الشكل، لا بد ان تكون احداهما علة او نتيجة للاخرى، لوجود رابطة سببية بينهما».

تلك هي قواعد الاستقراء التي صاغها جون ستيوارت ميل. وقد لقيت اعتراضا وانتقادا شديدين من جانب المناطقة والعلماء سواء بسواء. وكما قلنا قبل، فلقد كان الرجل متخلفا عن عصره غائبا عن العلم والعلماء. وانما ترجع شهرته الى مكانته الاجتماعية التي مكنته من نشر مؤلفاته وآرائه في انجلترا بشكل واسع. اما عن الانتقادات

التي وجهت الى قواعده من الزاوية الايبستيمولوجية فسنتعرف على جوانب منها في الفقرة التالية:

## 4 - وويل وكلود بيرنار: دور الفرضية

لم يعمد وليام وويل William Whewell (1794-1866)، وهو عالم انجليزي في المعادن واستاذ في جامعة كمبردج، الى صياغة قانون عام لتطور الفكر البشري كما فعل اوكست كونت ولا الى حصر المنهاج التجريبي في قواعد محدودة كما فعل جون ستيوارت ميل، بل نحا منحى آخر اقرب ما يكون الى الاسلوب العلمي. لقد استقرأ تاريخ العلم الحديث واستنتج منه أسس المنهاج التجريبي الذي طبقه العلماء منذ جاليلو، وكانت الفكرة الاساسية التي خرج بها هي التالية: ان **الاكتشافات التي توصلت اليها العلوم الاستقرائية انما يرجع الفضل فيها الى فعالية المنهاج الفرضي الاستنتاجي، بمعنى ان الكشف العلمي يرجع اساسا الى الفرضية لا الى الاستقراء.**

يرى وويل ان الاستقراء وحده لا يكفي، بل لا بد من فرضية توجه البحث وتقوده قبل الاستقراء وخلاله وبعده. ولا توجد طريقة او طرق محصورة يسلكها الذهن، دون غيرها، للانتقال من الفرضية الى القانون، بل ليس هناك ما يفصل بين الفرضية والقانون غير تلك التجارب والعمليات الذهنية التي تقودها الفرضية. (كان وويل من معاصري جون ستيوارت ميل، ومن اشد معارضيه ومنتقديه).

ان الاعتقاد السائد الذي يرى في الاستقراء الوسيلة الوحيدة التي نحصل بها على قضايا عامة، انطلاقا من الاحوال الجزئية، والذي يقرر ان القضايا العامة تنتج فقط من تجمع هذه الاحوال وضم بعضها الى بعض هو - كما يقول وويل - اعتقاد خاطىء تماما. ذلك لاننا اذا رجعنا الى الواقع وتتبعنا الخطوات التي سلكها الباحثون، وجدنا ان الاحوال الجزئية لا تجمع هكذا عرضا، **بل هناك دوما فكرة موجهة، فكرة ادخلت في القضية العامة نفسها ولا توجد في الوقائع الملاحظة.** ولكن عندما تندمج هذه الفكرة الموجهة مع معطيات التجربة لتشكل معها مركبا جديدا، ينسى الناس تلك الفكرة ويعتقدون انها من صميم الواقع، تماما مثلما يعتقدون ان القلادة هي دوما قلادة، في حين ان الفكرة التي جعلت منها قلادة هي من الانسان. فلا يوجد في العالم المادي الا جواهر معزولة. ان الادلاء بفكرة تجمع شتات الظواهر عملية تستلزم اقتراح فرضية. والفرضية تؤخذ من جملة افكار اخرى، اي تختار من بينها لكونها اقرب الى تفسير الظواهر. **واقتراح الفرضية من طرف الباحث عمل ينم، لا عن ضعف، بل عن قوة، ويتطلب جرأة وعبقرية.**

نعم انه لا بد من مقارنة الفرضيات مع معطيات الواقع، ولا بد من التخلي عنها عندما لا يكون هناك تطابق بينهما، ولكن يمكن، على الرغم من هذا، ان تستعمل الفرضيات في العلم وتؤدي دورا كبيرا حتى ولو لم يكن هناك ما يؤكدها في التجربة. ذلك

لان دور الفرضية في العلم، شأنها شأن النظرية، دور مؤقت تماما. وتقدم العلم يصحح الفرضيات ويعد لها باستمرار. وهناك في تاريخ العلم من الفرضيات ما أثبت العلم عدم صحتها، ولكنها مع ذلك قامت بدور كبير، لا في تفسير الظواهر المدروسة وحسب، بل وفي التنبؤ بظواهر جديدة ايضا. والامثلة على ذلك كثيرة متعددة، فكم من فرضيات مكنت من التنبؤ الصحيح بظواهر جديدة، على الرغم من ان العلم اثبت فسادها فيما بعد.

هذا من جهة، ومن جهة اخرى يؤكد وويل - وهو هنا يرفض وضعية اوكست كونت - على مشروعية البحث عن الاسباب وبناء النظريات التفسيرية في العلم. لان البحث عن الاسباب ليس سوى امتداد للبحث الذي ادى الى القوانين وليس من الممكن اقامة فاصل واضح ونهائي بين نقطة انتهاء البحث الخاص بالقوانين والبحث الرامي الى اكتشاف الاسباب. ففي كلتا الحالتين يتعلق الامر بتخيل فرضيات، واستخلاص النتائج التجريبية منها بواسطة التجربة(6).

* * *

والى مثل هذا الرأي يذهب العالم الفيزيولوجي الفرنسي المشهور كلود بيرنار Claude Bernard (1813-1878) الذي شرح ببساطة ووضوح أسس المنهاج التجريبي وخصائصه في كتابه المشهور: «مقدمة لدراسة الطب التجريبي»(7)، فهو يرى من جهته ان جميع المبادرات التجريبية ترجع كلها الى الفكرة. فالفكرة هي التي تخلق التجربة. اما الاستدلال فمهمته استخلاص النتائج من هذه الفكرة، النتائج التي يراقب صدقها او عدم صدقها بواسطة التجربة.

يرى كلود بيرنار ان الفرضية هي نقطة الانطلاق الضرورية لكل استدلال تجريبي، وبدونها لا يمكن القيام بأي بحث، ولا الحصول على أية معرفة، وكل ما يمكن فعله، بدون الفرضية، هو جمع ركام من الملاحظات العقيمة. فاذا قمنا بالتجارب دون فكرة موجهة سبق تصورها أدى بنا ذلك الى غياهب المجهول، وبالمثل، فاذا قمنا باقتناص ملاحظات انطلاقا من فكرة مسبقة نريد تبريرها، وكان شغلنا الشاغل هو الحصول على هذا التبرير، ادى بنا ذلك الى الاخذ بتصورات فكرنا على انها واقع حقيقي.

ذلك لان الافكار التجريبية ليست افكارا فطرية، وهي لا تنبثق في الذهن بصورة عفوية، بل لا بد لها من مناسبة، ولا بد لها من حافز خارجي. فلكي تكون لدينا فكرة اولية عن الاشياء، يجب ان نرى هذه الاشياء. والفكر البشري لا يمكنه تصور وجود

---

(6) Whewell: De la construction de la science liv. II trad. Robert Blanché Paris, Vrin 1938. on consultera aussi: A Blanché: Le rationalisme de Whewell. Paris Alcan 1935.

(7) Claude Bernard, Introduction à l'étude de la médecine expérimentale Librairie Délagrave Paris 1920.

اشياء بدون اسباب. ولذلك كانت رؤية الظاهرة توقد فينا دوما فكرة عن السببية، وكانت المعرفة البشرية كلها محصورة في السير القهقرى من النتائج الى الاسباب. فمن ملاحظة ظاهرة ما تتكون لدينا فكرة عن علتها، ثم تدخل هذه الفكرة - الفرضية في عملية استدلالية تنتهي بنا الى القيام بتجارب نراقب بها تلك الفرضية.

والشرطان الاساسيان اللذان يجب ان يتوافرا في كل فرضية علمية، هما ان يكون لها سند من الواقع، اي ان تكون الظواهر هي التي توحي بها، اولا، وان تكون قابلة للتحقق منها بالتجربة ثانيا. ولذلك، فالفرضيات التي لا تستوحى من التجربة مجرد خيال، والفرضيات التي لا تقبل التحقيق بالتجربة، فرضيات لا تنتمي الى عالم العلم، بل الى عالم الفلسفة والميتافيزيقا. ان الفكرة بذرة، والمنهاج التجريبي هو التربة التي تمدها بالشروط التي تجعلها تنمو وتخصب وتعطي احسن الثار التي تؤهلها لها طبيعتها. وكما انه لا ينبت في التربة الا ما نزرعه فيها، فكذلك لا ينمو في المنهاج التجريبي الا الافكار التي نخضعها له.

واذن، فالعلم التجريبي يقوم على اساسين مترابطين: المنهاج والفكرة. مهمة المنهاج هي قيادة الفكرة التي تنبثق في الذهن والسير بها قدما الى الأمام، نحو تفسير الطبيعة والبحث عن الحقيقة. «ويجب ان تكون الفكرة حرة دوما، غير مقيدة لا بالمعتقدات الدينية ولا بالمعتقدات الفلسفية ولا بالنظريات العلمية». يجب ان يكون العالم «شجاعا حرا، يفصح عن افكاره دون خوف ولا وجل لا يخشى من عدم توافق الفرضيات التي يقترحها مع النظريات القائمة ولا من تناقضها مع المعتقدات السائدة». ان الفكرة هي القوة المحركة للاستدلال، في العلم كما في غيره من ميادين المعرفة والتفكير. ويجب دوما، وفي جميع الحالات، اخضاعها لمقياس ما. وهذا المقياس، في ميدان العلم، هو المنهاج التجريبي او التجربة. انه مقياس ضروري واكيد، ويجب ان نطبقه على افكارنا وافكار غيرنا. «يجب ان نعدل النظرية لتتوافق مع الطبيعة، لا ان نعدل الطبيعة للتوافق مع النظرية».

هذا عن الفرضية ودورها في البحث العلمي، اما عن طبيعة المنهاج التجريبي ذاته، ودور كل من الاستقراء والاستنتاج في عملياته ومراحله، فان كلود بيرنار يرى ان الفصل بين الاستقراء والاستنتاج، والقول بأن الاول خاص بالعلوم التجريبية والثاني خاص بالرياضيات، امر ينطوي على قدر كبير من التعسف. ذلك انه اذا كان ذهن الباحث المجرب ينطلق عادة من الملاحظات الجزئية ليصل الى القضايا العامة، اي القوانين، فانه يتحرك ايضا، وبالضرورة، انطلاقا من هذه القضايا العامة ليصل الى الحوادث الجزئية التي يستنتجها منطقيا من هذه الاخيرة. ولكن بما ان يقين هذه القضايا العامة ليس يقينا مطلقا، فان ذلك الاستنتاج يبقى دوما استنتاجا مؤقتا لانه يظل في حاجة الى التحقيق التجريبي.

هذا من جهة، ومن جهة اخرى فليس صحيحا - يقول كلود بيرنار - ان الاستنتاج خاص بالرياضيات، والاستقراء خاص بالطبيعيات، فالواقع ان كلا منها يستعمل في جميع العلوم، لان هناك، في جميع العلوم، أشياء لا نعرفها وأخرى نعرفها او نعتقد اننا على معرفة بها. فعندما يدرس الرياضيون المسائل التي لا يعرفونها يقومون باستقراء يشبه ذلك الذي يقوم به الفيزيائي او الكيميائي او الفيزيولوجي، ولا تختلف طريقة التفكير لدى الرياضي عنها لدى المجرب عندما يكونان بصدد البحث عن المبادىء او القوانين. فكلاهما يستقرىء ويقترح الفروض ويقوم بالتجربة، اي بمحاولات للتحقق من صدق تلك الفروض. ولا يختلف الرياضي عن الباحث التجريبي الا عندما يصل كل منهما الى القضايا العامة التي يبحث عنها. وهذا الاختلاف راجع الى ان المبادىء التي ينطلق منها العالم الرياضي تؤخذ على انها يقينية ومطلقة(8) لانها لا تطبق على الواقع الموضوعي كما هو، بل على علاقات تقوم بين اشياء تؤخذ في ظروف وشروط بسيطة، اشياء يختارها الرياضي او يخترعها في ذهنه بشكل من الاشكال. وبما انه متأكد من انه ليس هناك ما يحمله على ادخال شروط اخرى في استدلالاته غير تلك التي حددها بنفسه، فان المبادىء التي أقرها تبقى مطابقة للفكر، مثلما هو الشأن في المنطق. فالاستدلال في الرياضيات وفي المنطق هو هو، ونتائجه لا تحتاج الى التحقيق التجريبي، ان المنطق وحده يكفي.

أما بالنسبة للباحث التجريبي فالامر يختلف. ذلك لان القضية العامة التي يصل اليها، او المبدأ الذي يستند اليه، يبقيان نسبيين ومؤقتين، لكونهما يعبران عن علاقات معقدة ليس في وسع الباحث قط الجزم بأنه ملم بها تمام الالمام. ومن هنا يظل الاستنتاج في العلوم التجريبية، مهما كان متماسكا من الناحية المنطقية، عرضة للشك، كما يبقى المبدأ الذي يستند اليه غير يقيني لانه ليس صادرا، كما هو الشأن في المنطق والرياضيات، عن مطابقة الفكر لنفسه. ولذلك كان من الضروري، بالنسبة للباحث في الطبيعة، الرجوع الى التجربة للتأكد من صحة ما أسفر عنه استدلالة من نتائج.

واذا كان هذا الفرق بين الرياضيات والعلوم التجريبية فرقا اساسيا على صعيد يقين المبادىء والنتائج التي نستخلص منها، فان آلية الاستدلال الاستنتاجي هي هي في كل منهما، فمنطلقه هو دوما: الفرضية، ان لسان حال الرياضي يقول: اذا انطلقنا من هذه القضية، وهي صحيحة، فها هي النتائج الصحيحة التي تنتج عنها. اما الباحث التجريبي فلسان حاله يقول: اذا كانت هذه القضية التي انطلقنا منها صحيحة فها هي النتائج التي تعقبها.

ان هذا يعني ان على الباحث التجريبي ان يشك دوما فيما يحصل عليه من نتائج. ولكن الشك هنا لا يعني اتخاذ موقف مبدئي من المعرفة وامكانيتها، كلا، ان الشك

---

(8) يصدر كلود بيرنار هنا عن التصور الكلاسيكي للاوليات الرياضية، لا عن التصور الاكسيومي الحديث. راجع الجزء الاول من هذا الكتاب. الفصل الثاني.

المطلوب في العلم يجب ان لا يمتد الى العلم نفسه، بل يجب ان يبقى محصورا في الطرق التي بها يكتسب العلم. ان على المجرب ان يشك في صلاحية الفكرة التي يدلي بها كفرضية يقترحها لتفسير الظواهر. وعليه ايضا ان يشك في الوسائل التي يستعملها في الملاحظة. والطرق التي يسلكها في البحث، فلا يمنحها ثقته المطلقة. كل ذلك واجب. ولكن الذي يجب ان لا يتطرق اليه الشك ابدا، في نظر كلود بيرنار، هو مبدأ الحتمية، المبدأ الذي يؤسس العلم التجريبي كله.

ذلك لان شك الباحث المجرب في فرضياته لا يعني شيئا آخر سوى ان عليه ان يخضعها للتجربة ليتأكد من صحتها او عدم صحتها، ولكن ليس معنى هذا انه يجب ان يتخذ الحوادث التجريبية وحدها حكما ومعيارا، فالحوادث التجريبية، بدون فكر يفحصها وينظمها ويستنطقها هي لا شيء، ولذلك يظل العقل دوما الاساس الذي تقوم عليه عملية التحقق من الفرضيات. انه المعيار الذي يجب الاستناد اليه، فهو الذي يقيم الروابط بين الحوادث وأسبابها، وبالتالي يكشف عن صحة الفرضية او عدم صحتها، وسيلته في ذلك مبدأ الحتمية، وهو مبدأ عقلي بدونه لا يمكن ان تقوم للمعرفة العلمية قائمة.

ان الايمان الراسخ بهذا المبدأ هو المرشد الذي يوجه الباحث في ملاحظاته وتجاربه، في تحقيق ما يقترحه من فروض وما يستخلصه من نتائج وقوانين. فاذا صادف الباحث خلال ابحاثه ظاهرة لا تقبل الخضوع لمبدأ الحتمية، فان عليه ان يبعدها من طريقه، فعدم الخضوع لمبدأ الحتمية معناه ان الظاهرة المعنية ظاهرة غير علمية. وفي هذه الحالة يتحتم عليه ان يقوم بمراجعة شاملة لتجاربه وأبحاثه، وان يعمد الى تجارب اخرى، حتى يتبين له السبب الذي جعل الظاهرة المذكورة لا تقبل الاندماج في الحوادث التي ينتظمها مبدأ الحتمية. ان وجود ظاهرة لا تخضع لمبدأ الحتمية لا يعني شيئا آخر سوى ان هناك خطأ او نقصا في الملاحظة. اما ان تكون هناك ظواهر لا تخضع للحتمية، اي ظواهر لا أسباب لها، فهذا ما ينافي العلم والروح العلمية. ان التسليم بوجود مثل هذه الظواهر معناه الشك في العلم، بل الشك في العقل ذاته: ان العقل يتعقل الظواهر المحددة – التي تنتظمها الحتمية – ولكنه لا يقبل ولا يستطيع ان يقبل وجود ظواهر لا تقبل التحديد الحتمي الا اذا كان الامر يتعلق بالمعجزات والخوارق وتلك امور يجب تشطيبها نهائيا من العلم التجريبي. ان العلم حتمي بالضرورة وكل ظاهرة لا تقبل التحديد الحتمي هي ظاهرة غير علمية يجب ان تزاح عن طريق العلم.

★ ★ ★

هذه المناقشات حول الفرضية وطبيعتها ودورها، وحول طبيعة البحث العلمي ذاته – هل يقتصر على الظواهر والكشف عن العلاقات التي تربطها ربطا ضروريا (القوانين) ام انه يجب ان يتعدى ذلك الى البحث عن الاسباب والخوض في «ما وراء الظواهر» – قد اشتدت وتعمقت بسبب الكشوف العلمية التي تمت في النصف الثاني من القرن التاسع

عشر، اي في عهد وويل وكلود برنار نفسيهما، فتحول النقاش من الفرضية ودورها الى النظرية العلمية وحدودها. وهنا تبلورت اتجاهات ايبستيمولوجية متنوعة يمكن تصنيفها الى صنفين: اتجاهات وضعية، واتجاهات لا وضعية. الاولى تحصر دور النظرية العلمية في تركيب القوانين وادماج بعضها في بعض، والثانية ترى ان مهمة النظرية العلمية هي تفسير الظواهر وتقديم صورة معقولة عنها مبنية على فكرة السببية. وسنعالج في الفصل التالي مجمل آراء هذه الاتجاهات.

# الفصل الرابع

## النظرية الفيزيائية ومشكلة الاستقراء

شهد القرن التاسع عشر، وخاصة النصف الثاني منه، اتجاهات عديدة متباينة في فلسفة العلوم كان محورها: النظرية الفيزيائية وطبيعة المعرفة العلمية، ويمكن القول بصفة عامة ان النقاش بين هذه الاتجاهات كان يدور حول نقطتين رئيسيتين:

- **مهمة النظرية الفيزيائية:** هل يجب ان تطمح النظرية الفيزيائية الى تقديم تفسير لظواهر الطبيعة يبرز وحدتها ومعقوليتها، ام ان عليها ان تقتصر فقط على اختزال القوانين العلمية بدمج بعضها في بعض، حاصرة مجال عملها في تقديم وصف مركز لمعطيات التجربة.
- **طبيعة المعرفة العلمية ذاتها:** هل هي معرفة يقينية تكشف عن حقيقة الواقع الموضوعي، ام انها معرفة مؤقتة ونسبية محصورة في مجال الظواهر الحسية.

والنقطتان مترابطتان متداخلتان: بل هما وجهان لقضية واحدة، ولذلك يمكن تصنيف تلك الاتجاهات في صنفين: **اتجاهات وضعية، واتجاهات لا وضعية.** الاولى تجريبية ظاهراتية (= تحصر عمل العلم في الظواهر الحسية). والثانية عقلانية تفسيرية (= تحاول ان تفسر الظواهر بأسبابها «الخفية»). الاتجاهات الوضعية - الجديدة ترتبط مباشرة بماخ، ومنه بباركلي. والاتجاهات العقلانية التفسيرية ترتد في جزء منها الى ديكارت، وفي جزء آخر الى نيوتن على الرغم من ان هذا الاخير قد عارض ديكارت معارضة شديدة في بعض المسائل، خاصة فيما يتعلق بمصدر الفرضيات العلمية. كما رأينا ذلك في الفصل السابق.

وقبل ان نعرض لهذه الاتجاهات الوضعية واللاوضعية سنقول كلمة عن **النزعة الدوجماتية العلموية** Scientisme التي انتشرت في القرن التاسع عشر خاصة، والتي ادت الى قيام ردود فعل عززت جانب الاتجاهات الوضعية.

### 1) الدوجماتية والعلموية

ليس ثمة من شك في ان ديكارت دوجماتي النزعة. ولكن دوجماتيته فلسفية قبل كل شيء (الافكار الفطرية، البداهة والوضوح، اليقين الرياضي).

ولذلك، فان النزعة الدوجماتية في العلم انما ترجع اساسا الى نيوتن. لقد عارض نيوتن دوجماتية ديكارت الميتافيزيقية، ولكنه احل محلها دوجماتية علمية. **كانت دوجماتية ديكارت دوجماتية المبادىء**، اما نيوتن فقد قلب هذه الدوجماتية الفلسفية وجعلها **دوجماتية النتائج**، كان يقول: انا لا اضع من الفروض الا ما تبرهن التجربة عن صحته. (راجع ما قلناه عن نيوتن في الفصل السابق).

وعلى الرغم من ان اوكست كونت قد حصر مهمة العلم في البحث عن القوانين مطالبا بقصر البحث العلمي في دراسة شروط وجود الظاهرة، والاعراض عن البحث في كيفية وجودها واسباب حدوثها، فانه كان يعتقد ان العلم يستطيع الاجابة عن جميع الاسئلة، شريطة ان يصاغ السؤال بكيفية علمية. لقد كان اوكست كونت واثقا في العلم وفي قدرته على حل جميع المشاكل حتى الاجتماعية منها ،كيف لا وهو الذي جعل المرحلة الوضعية (= العلمية) أرقى مراحل تطور الفكر البشري. انه من هذه الناحية دوجماتي تماما كنيوتن، ولذلك لم ترتبط به الاتجاهات الجديدة اي ارتباط.

على أساس العلم النيوتوني - الدوجماتي النزعة - والفلسفة الوضعية التي شيد صرحها اوكست كونت والتي رفعت العلم الى اسمى الدرجات، **قامت نزعة علموية**، انتشرت في النصف الثاني من القرن التاسع عشر خاصة، وكان زعماؤها، في الغالب، فلاسفة لا علماء. وكثيرا ما كان هؤلاء الفلاسفة متخلفين عن ملاحقة تقدم العلم متمسكين بالنظريات والآراء التي تجاوزها البحث العلمي. ومن ابرز هؤلاء الفيلسوف الفرنسي ارنست رونان Ernest Renan (1823-1892) وانست هيكل Ernest Hackel (1834-1919).

يقصد **بالنزعة العلموية** النزعة التي ترى ان المعرفة العلمية، الفيزيائية والكيميائية هي وحدها المعرفة الحقة، فهي من هذه الناحية وضعية الاتجاه. غير انه يمكن التمييز بين **العلموية الميتافيزيقية** التي تعتقد ان العلم سيحل جميع المشاكل التي كانت من اختصاص الميتافيزيقا، وبين **العلموية المنهجية** التي ترى ان المنهاج المتبع في الفيزياء والكيمياء هو وحده الصالح، ولذلك يجب تطبيقه في العلوم الانسانية.

واذا كانت العلموية المنهجية قد استعارت مصطلحات ومفاهيم الفيزياء والكيمياء لتستعملها بشكل تعسفي ساذج في الميادين الاجتماعية والسيكولوجية مما ادى الى قيام علوم اجتماعية وسيولوجية ميكانيكية ذرية، فان العلموية الميتافيزيقية قد حاولت هي الاخرى اقامة تصورات عامة عن الكون والانسان بواسطة «النتائج العلمية». وهكذا نشأت ديانات وضعية تعتبر «العلم دين المستقبل» (سان سيمون، اوكست كونت، هربرت سبنسر..). لقد كان اقطاب هذه النزعة يعتقدون انه بامكان العلم ان يركب مختلف المعارف البشرية تركيبا كليا شاملا يقوم على مبدأ واحد (المادة والحركة بالنسبة للنزعة الميكانيكية، ومبدأ التطور بالنسبة لسبنسر)، وبذلك يتم القضاء نهائيا على الميتافيزيقا. لقد عبر وندت Wundt عن روح هذه النزعة، فقال: «في القرن التاسع عشر كان الله هو الذي

يضع قوانين الطبيعة، اما في القرن الثامن عشر فلقد كانت هذه القوانين من صنع الطبيعة نفسها، اما في القرن التاسع عشر فان قوانين الطبيعة يضعها العلماء انفسهم».

لقد تعرضت هذه النزعة الدوجماتية العلموية لانتقادات شديدة خاصة في الربع الاخير من القرن التاسع عشر. مما ادى الى قيام اتجاهات وضعية تنادي بحصر المعرفة العلمية في نطاق محدود، نطاق الظواهر الحسية. وكما قلنا قبل، فلقد احدثت هذه النزعات الوضعية الجديدة ردود فعل من جانب العلماء والفلاسفة ذوي الميول العقلانية. وقد كان النقاش بين هؤلاء واولئك يدور، بكيفية خاصة، حول النظرية العلمية طبيعتها وحدودها. وسنقدم في الفقرات التالية مجملا لهذه المناقشات(1).

## 2) مصادر الوضعية الجديدة: باركلي وماخ

على الرغم من ان اوكست كونت هو مؤسس الفلسفة الوضعية، فان الاتجاهات الوضعية الجديدة بمختلف نزعاتها، لا ترتبط بأوكست كونت مباشرة، بل بظاهراتية ماخ Phenoménisme التي ترتبط هي الاخرى بلا مادية بركلي.

عاش الراهب بركلي (1685–1753) في عصر طغت فيه النزعة المادية الالحادية الميكانيكية فأراد ان يهدم هذه النزعة من أساسها، وذلك بالبرهنة على عدم وجود المادة كشيء مستقل عن الفكر الذي يدركها، ومن هنا قولته المشهورة: **الموجود هو ما يدرك**. ولم يكن بركلي G. Berkeley يهدف من وراء ذلك الى هدم الميتافيزيقا، بل بالعكس، كان يهدف الى اثبات ان المعرفة العلمية، وموضوعها الظواهر الحسية، ليست سوى وسيلة تمكننا من الصعود الى نوع من المعرفة اسمى، هي المعرفة الروحية. ان مهمة العلم، اذن، ليس تفسير الكون، بل الاقتصار على البحث عن الروابط المنتظمة التي تربط بين الظواهر، الشيء الذي يساعدنا على جعل افعالنا ونشاطاتنا تخدم بكيفية افضل، حاجات الحياة. ان المحاولات التي تريد ارجاع الظواهر كلها الى المادة والحركة (النزعة الميكانيكية) هي في نظر بركلي، محاولات غير مشروعة، لان المادة – وكذلك الحركة – لا تتمتع بأي وجود مستقل عن الذات التي تدركها، **فهي** ترجع الى مجرد احساسات، مثلها مثل اللون والصوت والحرارة. وبعبارة اخرى: **ان الواقع الطبيعي هو نفسه الواقع الحسي**. ذلك لاننا لا ندرك، بواسطة حواسنا، الا التأثيرات والكيفيات الحسية. أما الاجسام **فهي** مجموع هذه الاحساسات وهي منفعلة، لا فاعلة، سواء كانت ساكنة او متحركة. والعقل والتجربة معا يدلاننا على أنه ليس هناك من شيء فاعل الا الفكر والروح. ومن هنا يجب التمييز بين مجال الفلسفة الطبيعية (= الفيزياء) وقوامه التجارب وقوانين الحركة.. ومجال العلم الاسمى الذي يسعى الى معرفة خالق الطبيعة. وهذا العلم لا

(1) لن نتعرض هنا لوضعية جماعية فينا وفروعها المعاصرة، وهي الوضعية التي يطلق عليها اليوم مصطلح «الوضعية الجديدة». لقد عالجنا اهم مقولات هذه الجماعة في المدخل العام الذي صدرنا به الجزء الاول من هذا الكتاب. اما مرتكزاتها العلمية فتتضمنها النصوص الملحقة بهذا الجزء.

يمكن ان يستقى من الظواهر لانها مجرد احساسات، بل ان منبعه ومصدره التأملات الميتافيزيقية واللاهوتية والاخلاقية.

تبنى العالم الفيزيائي ماخ Ernest Mach (1838-1916) اطروحة باركلي التي تحصر المعرفة في الظواهر الحسية، وحاول ان يعطيها طابعا علميا ساكتا عن النتائج الميتافيزيقية اللازمة عنها. يرى ماخ ان الطبيعة تتألف من عناصر تمدنا بها الحواس، ومن هذه العناصر نؤلف مركبات تتمتع باستقرار نسبي وندعوها «أشياء». ان الشيء، في نظره. (اي الاجسام والموضوعات) لا يتمتع بأي وجود موضوعي، بل هو مجرد مركب ذهني من الاحساسات. ومن ثمة فان ما يشكل العناصر الحقيقية للعالم ليس الموضوعات والاجسام، بل الاحساسات البصرية والسمعية واللمسية.

وانطلاقا من هذه الاطروحة - التي كانت رد فعل مباشر ضد المثالية الالمانية وفلسفة «الشيء في ذاته» - حدد ماخ مهمة العلم في استنساخ صور ذهنية من الواقع، صور يختزلها الفكر ويدخرها اقتصادا للمجهود الفكري. لقد انكر ماخ، لا «الشيء في ذاته» وحسب، بل الشيء كحقيقة موضوعية، كما انكر الوجود الموضوعي للسببية. فالترابط بين السبب والنتيجة غير موجود في الطبيعة، بل يقوم، فقط، بين الصور الذهنية التي يختزنها الفكر. ومن هنا نادى بعدم مشروعية النظريات التفسيرية. وقال: ان مهمة العلم يجب ان تنحصر في تقديم عدة ظواهر في صورة قانون، وان وظيفة النظرية العلمية يجب ان تنحصر هي الاخرى في عرض الحوادث، عرضا واضحا قدر الامكان، بأقل نفقة فكرية (= مبدأ اقتصاد الفكر) (2).

هذا واذا كانت فلسفة ماخ امتداداً مباشرا لفلسفة باركلي اللامادية، ورد فعل مباشر كذلك للمثالية الالمانية (هيجل، فخته، شلنج)، فانها قد جاءت ايضا تأويلا ايديولوجيا لبعض المكتشفات العلمية، خاصة منها تلك التي تمت في ميدان الطاقة والمرتبطة بالنظرية الحركية للغازات. وكما سنرى في الفقرة التالية فان الكشف العلمي الواحد يمكن ان يستغل فلسفيا وايديولوجيا لاهداف متباينة بل متناقضة.

## 3) النزعة الميكانيكية ونظرية الطاقة

تعززت النزعة الميكانيكية التي شيد صرحها نيوتن بقيام النظرية الحركية للغازات التي كان لها تأثير كبير في مختلف مرافق الفيزياء والاستشرافات الفلسفية التي تتخذ الكشوف العلمية اساساً لها ومنطلقاً. لقد تمكنت هذه النظرية من الكشف عن «طبيعة» الحرارة بارجاعها الى ظاهرة ميكانيكية هي الحركة بالذات، لقد اتضح ان حرارة الجسم هي نتيجة حركة جزئياته(3). والنتيجة هي ان الحرارة التي تنتج الحركة

(2) انظر في قسم النصوص نصا لماخ في هذا المعنى.

(3) انظر تفاصيل حول الموضوع في القسم الثاني الفصل الاول.

هي نفسها نتاج للحركة، وبعبارة اخرى لقد تبين، بما لا يقبل الشك، ان هناك **تكافؤا بين الحرارة والشغل**، مما فتح آفاقاً جديدة أمام التفسير الميكانيكي للظواهر الطبيعية. وهكذا فليست الكواكب والاجسام الكبيرة هي وحدها التي تقبل التفسير الميكانيكي، بل ان جزئيات المادة الصلبة وجزئيات السوائل وجزئيات الغازات تقبل كلها الدخول في التصور الميكانيكي وتندرج تحت قوانينه.

من هنا قامت نزعة ميكانيكية جديدة ومتطرفة أعم وأشمل من النزعة الميكانيكية الكلاسيكية (نزعة نيوتن). وكان العالم الالماني هيلمولتز Helmholtz (1821–1894) ابرز ممثل لها. وفيما يلي مجمل لآرائه.

يميز هيلمولتز بين **الفيزياء التجريبية** (أو العلم التجريبي) وبين الميكانيكا النظرية (أو العلم النظري). **الاولى** تبحث عن القوانين العامة التي ترتد اليها الظواهر، **والثانية** تبحث عن الاسباب التي تقف وراء تلك الظواهر. والاسباب، في نظره، نوعان: **أسباب لا متغيرة وأسباب متغيرة**. فاذا وجدنا ظواهر ترتد الى اسباب متغيرة وجب علينا، وفقاً لمبدأ السببية، البحث عن السبب او الأسباب التي جعلتها متغيرة، ومن ثمة البحث عن الأسباب اللامتغيرة، اي تلك التي تنتج عنها دوما، وفي نفس الظروف، نفس النتائج. ومن ثمة كان **الهدف الاخير للعلم النظري هو الكشف عن الاسباب اللامتغيرة التي تقف وراء حدوث الظواهر**. ذلك لانه من الضروري للعلم الذي يهدف الى تعقل الطبيعة، ان ينطلق من التسليم بامكانية التفسير السببي لجميع الظواهر والعمل على ضوء هذا المنطلق. **ان التصور الحتمي للظواهر الطبيعية ضروري، ليس فقط لتقدم العلم، بل أيضا لتأكيد محدودية معارفنا.**

ولكن، كيف يمكن تطبيق هذا التصور الحتمي للظواهر الطبيعية؟.

يقول هيلمولتز: ان العلم ينظر الى أشياء العالم الخارجي من زاويتين: **فهو من جهة** ينظر اليها بوصفها **موجودة** فقط، ولا ينظر الا في هذا الوجود الذي تتصف به غاضا النظر عن تأثيرها مهما كان الموضوع الذي يقع عليه هذا التأثير. وفي هذه الحالة يطلق على أشياء الطبيعة، منظورا اليها من هذه الزاوية اسم مادة. واذن، فالمادة كوجود لا تقوم بأي فعل او تأثير، ونحن لا نعرف عنها الا انها امتداد وكم (**كتلة**)، وتلك خاصية لها ثابتة. ومن **جهة ثانية** ينظر العلم الى أشياء الطبيعة من حيث انها تختلف عن بعضها بعض بشيء واحد هو تأثيرها اي قوتها، اما الفروق الكيفية فهي لا تدخل في صميم المادة. ان التغيير الوحيد الذي يعتري المادة هو ذلك الذي يلحق موقعها في المكان، اي ما نعبر عنه بالحركة. وبما انه لا يوجد شيء في الطبيعة الا وله تأثير – جميع الاشياء التي نعرفها ترجع معرفتنا بها الى تأثيرها في حواسنا – فان هذا التأثير يقودنا هو نفسه الى سببه ومصدره.

واذن، فجميع اشياء الطبيعة ترجع عند نهاية التحليل الى **المادة والقوة**. والمادة والقوة

متلازمتان لا تقبلان الفصل واقعيا: فالمادة المحض، اذا ما وجدت، لن يكون لها اية علاقة بالاشياء الاخرى، ولن تؤثر على حواسنا، وبالتالي فنحن لا نعرف ولا نتصور الا المادة المؤثرة المتحركة. ومن الخطأ اعتبار المادة شيئا واقعيا والقوة مفهوما ذهنيا، بل هما معا صفتان للواقع الموضوعي. انهما تجريدان مستخلصان بنفس العملية الذهنية واذن، فنحن لا نعرف الا المادة والحركة (= القوة). وجميع الظواهر الطبيعية ترتد في نهاية التحليل الى حركات المادة. والحركة تعديل للعلاقات الميكانيكية، والقوة هي ميل كتلتين الى تعديل موقعيهما. والعلاقات المكانية التي تربط الاشياء ترتد هي الاخرى، عند نهاية التحليل، الى علاقات تتعلق بالمسافة الفاصلةبينها. واذن، فالقوة المحركة التي تربط الاجسام بعلاقات مسافة لا يتغير فيها الا شيء واحد هو الاتجاه، وهذا يعني ان القوة لا بد ان تكون اما جاذبة واما نابذة.

ومن هنا يستخلص هيلمولتز النتيجة التالية التي تعبر اقوى تعبير عن نزعته الميكانيكية المفرطة. يقول: ان مشكل العلوم الفيزيائية ينحصر في ارجاع جميع الظواهر الطبيعية الى قوى ثابتة، جاذبة او نابذة، تتوقف شدتها على المسافة الفاصلة بين مراكز الجذب ومراكز النبذ، ان امكانية الوصول الى فهم تام للطبيعة يتوقف على حل هذا المشكل.

وكرد فعل ضد هذه النزعة الميكانيكية المتطرفة قامت نظرية الطاقة[ Energetiques؛ مستندة هي الاخرى الى النظرية الحركية للغازات وكان من ابرز اقطابها في انجلترا رانكين Rankin (1820–1872) وقد ساند هذه النظرية كل من ماخ واستوالد في المانيا ودوهيم في فرنسا.

يرى رانكين ان اكتشاف تكافؤ الحرارة مع الشغل لا يعني بالضرورة ارجاع الحرارة الى الحركة وبالتالي الى الطاقة الميكانيكية. فلماذا نفضل الطاقة الميكانيكية على الانواع الاخرى من الطاقة؟ ان هذا التفضيل «اختيار» تعسفي ومن الواجب التقيد بمعطيات التجربة وحدها. والتجربة تدلنا، فقط، على ان هناك انواعا من الطاقة، كالطاقة الميكانيكية، والطاقة الحرارية، والطاقة الكيماوية، والطاقة الكهربائية.. فلماذا نأخذ الطاقة الميكانيكية ونجعلها اساسا لجميع انواع الطاقة، وبالتالي اساسا للفيزياء؟ ان التقيد بمعطيات التجربة يفرض علينا ان ننظر الى هذه الانواع من الطاقة كظواهر تجريبية لا افضلية لاحداها على الاخرى. وبالتالي يتحتم علينا ان نأخذ مفهوم الطاقة العام كواقعة طبيعية اساسية نبني عليها الفيزياء كلها. ذلك لانه لا يوجد شيء آخر اساسي فيما تمدنا به التجربة غير الطاقة ان ما نسميه المادة ملازم لما نسميه الحركة، فليست هناك مادة بمفردها، ولا حركة بمفردها، وكل ما هناك هو الطاقة.

ذلك ما قال به رانكين صاحب نظرية الطاقة المبنية على تصور وضعي ظاهراتي لحوادث الطبيعة. انه يرى ان النظرية الفيزيائية يجب ان تتجنب كل فرضية وكل محاولة

لتفسير الطبيعة، وان تقتصر، بالتالي، على اقامة نوع من التناظر بين المعادلات الجبرية ومجموع القوانين التجريبية. وهكذا طرحت بجدة «مشكلة» النظرية العلمية: طبيعتها، حدودها، دورها. فجرت في هذا الصدد مناقشات طويلة عريضة حول النظرية الفيزيائية، وانقسم العلماء الى فريقين: فريق وضعي يؤكد نزعة ماخ وتصور رانكين، وفريق عقلاني يريد ان يحتفظ للنظرية الفيزيائية بمهمتها الاصلية، مهمة تفسير حوادث الكون وظواهره، وارجاعها الى اقل عدد ممكن من المبادىء.

## 4) النظرية الفيزيائية: اتجاهان متعارضان

### أ - الاتجاه الوضعي

لا يشكل الاتجاه الوضعي في العلم وحدة منسجمة، بل هو في الحقيقة اتجاهات متباينة، ولكنها تتفق كلها - تقريبا - في الدعوة الى التقيد بالظواهر ومعطيات التجربة والامساك عن كل محاولة تفسيرية تتعدى حدود الظواهر ايمانا منها بأن العلم لا يستطيع بلوغ «حقيقة» الواقع، هذا اذا افترضنا ان هناك فعلا واقعا موضوعيا مستقلا عن ادراكنا ومعارفنا العلمية، ومن ابرز الذين يصنفون في هذا الاتجاه، بيير دوهيم، وبوانكاريه، ولوروا... هذا بالاضافة الى ماخ ورانكين من جهة، وجماعة فيينا وفروعها من جهة اخرى.

**- دوهيم ومعنى النظرية الفيزيائية.**

يرى **بيير دوهيم** Pierre Duhem (1821-1961) ان النظرية الفيزيائية ستكون تحت وصاية الميتافيزيقيا اذا هي حاولت تفسير الواقع المادي، لان هذا «التفسير» لا يمكن ان يستند الا على فرضيات وليس على معطيات التجربة. ان النظرية الفيزيائية لن تكون مستقلة بنفسها - في نظره - الا اذا ابتعدت عن المعتقدات الميتافيزيقية والصراعات التي تحتدم بين المدارس الفلسفية، واعتمدت على مبادىء مستقاة من التجربة وحدها، واقتصرت على تركيب القوانين الفيزيائية المستخلصة من التجربة. ومن هنا تعريفه المشهور للنظرية الفيزيائية: يقول: «**ليست النظرية الفيزيائية تفسيراً (= للواقع)، بل هي منظومة من القضايا الرياضية المستنتجة من عدد قليل من المبادىء والهادفة الى صياغة مجموعة من القوانين التجريبية بأكثر ما يمكن من البساطة والشمول والدقة**». وهكذا، فالنظرية الفيزيائية تكون صحيحة، لا لانها تقدم تفسيرا للظواهر الحسية مطابقا للواقع، بل لانها تعبر بكيفية مرضية عن مجموعة من القوانين التجريبية. وتكون النظرية الفيزيائية خاطئة لا لانها تعتمد في التفسير الذي تقدمه على افتراضات لا أساس لها من الواقع، بل لانها تتألف من قضايا لا تتوافق مع القوانين التجريبية. وهذا يعني ان النظرية الفيزيائية لا تستحق هذا الاسم الا اذا كانت مبنية على القوانين التجريبية. والمعيار الوحيد الذي يجب ان يقاس به صواب او خطأ هذه النظرية هو التجربة. **فهي** صحيحة عندما تتوافق مع القوانين التجريبية، وخاطئة في الحالة المعاكسة.

واذا كان الامر كذلك فما مهمة النظرية الفيزيائية وما وظيفتها؟ وما الفرق بينها وبين القوانين؟.

هنا يلتقي دوهيم مع ماخ ويتبنى صراحة آراءه. **يقول ان مهمة النظرية الفيزيائية ووظيفتها معا، هي الاقتصاد الجهود الذهني، واضفاء النظام على القوانين التجريبية وجعلها اسهل تناولا واكثر جمالا.**

**- بوانكاريه والنظرية الملائمة**

ويرى **بوانكاريه** من جهته انه من الخطأ وصف نظرية ما بالصحة اذ ليست هناك نظرية صحيحة باطلاق، فالنظريات تتعدل وتتغير باستمرار وكم من نظرية قامت نظرية اخرى لتكذبها وتلغيها. واذن، **فان النظرية لا تكون صحيحة او غير صحيحة، وانما تكون ملائمة او غير ملائمة.**

ذلك لان النظرية الفيزيائية انما تستند الى شيئين اثنين: المبادىء، والصور الذهنية المستنسخة من الواقع. اما المبادىء فهي ليست، عند نهاية التحليل، سوى **تعاريف مقنعة، فهي من وضع العالم**، لا من معطيات التجربة، ولذلك لا يمكن القول انها صحيحة «= حقيقية».اما **الصور الذهنية** المستنسخة من الواقع فلا يمكن النظر اليها، **هي** الاخرى، كحقائق واقعية، اذ يجوز دوما - وهذا ما يحدث بالفعل - استبدالها بغيرها، مع بقاء العلاقات التي تنظم الظواهر الطبيعية هي هي، بمعنى انه يمكن للفكر ان يستنسخ الظواهر الطبيعية بصور مختلفة، دون ان يمس ذلك من العلاقات الثابتة التي تربط بين الظواهر، واذن: **فالمبادىء تعاريف، وهي تتغير، لانها مجرد مواضعات، والصور الذهنية مجرد نسخ عن الواقع، وهي تتغير كذلك، والشيء الوحيد الذي يبقى ثابتا هو العلاقات بين الظواهر الطبيعية. وثباتها دليل على موضوعية العالم الخارجي. غير ان هذه الموضوعية لا يمكن بلوغها كاملة، وانما يحاول الانسان بلوغ اكبر قسط منها، وسيلته في ذلك تنويع المبادىء والصور الذهنية.**

هنا يتيمز بوانكاريه، بعض الشيء، عن مجموع الاتجاهات الوضعية، فهو يعترف مبدئيا بموضوعية العالم الخارجي، ولا يربطه بالاحساسات فقط. هناك واقع موضوعي تدلنا عليه العلاقاتالثابتة (القوانين) ولكن هذا الواقع لا نستطيع الامساك به كاملا، بل فقط نجد ونسعى لبلوغه ولكن هيهات. يقول: لا يهدف العلم الى السيطرة على الطبيعة واستغلالها وحسب، بل يرمي كذلك الى فهمها. ولكن **حقيقة الطبيعة تبقى خفية علينا دوما**، اذ كلما اقتربنا منها ابتعدت عنا. ومع ذلك فنحن نكون لانفسنا، خلال جرينا وسعينا وراء حقيقة الطبيعة، صورة تقريبية تزداد دقة بتحسن معارفنا وتعديل نظريتنا. ولذلك يجب ان نسهر باستمرار على تعديل نظرياتنا، بل على انشاء نظريات جديدة تحل محل النظريات القديمة. ويجب ان لا يدفع بنا هذا الى الشك فالحقيقة الموضوعية موجودة وتعاقب النظريات علامة على اننا نقترب منها. هناك شيء ثابت، تارة نسميه حركة، وتارة نسميه

حرارة وتارة اخرى نسميه قوة... ان الذي يتغير هو هذه الأسماء التي نطلقها على ذلك الشيء الثابت الذي يشكل حقيقة الطبيعة. هي تتغير لانها مجرد اسماء نتفق عليها، انها مواضعات نستعملها كأدوات مؤقتة قصد الوصول الى الحقيقة التي ننشدها، ولكن الهاربة منا دوما(4).

- لوروا والنزعة الاسمية

من الاتجاهات الوضعية التي تكتسي صبغة خاصة اسمية لوروا Edouard le Roy (1870-1954) نقول عن هذه الاسمية Nominalisme انها وضعية اذا نظرنا اليها فقط من خلال تصورها للقوانين والمفاهيم العلمية. اما اذا نظرنا اليها من جانبها الفلسفي فاننا سنجدها نزعة حدسية براجماتية ذات ميول روحية.

والبراجماتية Pragmatisme في المعنى العام نظرية فلسفية ترى ان الوظيفة الاساسية للعقل، ليست تقديم معرفة عن الاشياء، بل مساعدتنا على التأثير فيها، وهي في هذا تقف على طرفي نقيض مع النزعة الحدسية، والفلسفة البرجماتية في الاصل فلسفة انكولوسكسونية (وليم جيمس خاصة) تربط الحقيقة بالمنفعة، **فالفكرة الحقيقية هي الفكرة الناجحة**. والعقل لا يبلغ مبتغاه الا اذا تمكن من ان يحملنا على القيام بعمل فعال ومفيد. ولذلك **فالفكرة لا تكون ناجحة لانها حقيقية، بل تصبح حقيقية عندما تنجح**. وقد قام في فرنسا تيار برجماتي كان برجسون ولوروا من أبرز ممثليه. وقد اطلق هذا الاسم على فلاسفة الفعل، خاصة في الميدان الاخلاقي والديني. فالحقيقة الدينية والاخلاقية تكتسبان بالفعل والممارسة، لا بالتأمل والنظر (= مارس الدين أولا، ثم يأتي الايمان بعد ذلك، لان الحقيقة الدينية في متناول الجميع).

وما يهمنا هنا من اسمية لوروا هو آراؤه المتعلقة بالمعرفة العلمية. لقد عارضت النزعة الاسمية الكلاسيكية (في القرون الوسطى) اضفاء اي نوع من الوجود الموضوعي على الكليات الفكرية والمفاهيم العامة. (وذلك على خلاف النزعة الواقعية التي تتبنى جزئياً تصور افلاطون للمثل). ان الكليات والمفاهيم في نظرها مجرد رموز أو أسماء تشير الى الغامض من الاشياء كـ«الانسان» مثلا. ذلك لانه لا وجود لـ«الانسان» كمفهوم كلي، وانما يوجد هذا الانسان الذي اسمه احمد او ابراهيم... فالاشياء كلها جزئية. تلك باختصار هي وجهة نظر الفلاسفة الاسميين. وما في ميدان العلم، فترى النزعة الاسمية ان الحوادث العلمية، وبالاحرى القوانين والنظريات، هي من انشاء الفكر، وليست تمثلا او تصورا للاشياء كما هي.

---

(4) لقد ادرجنا في قسم النصوص نصا لبوانكاريه حول «القيمة الموضوعية للعلم» يلقي مزيدا من الضوء على آرائه في هذا الشأن، انظر كذلك كتابيه

H. Poincaré: la science et l'hypothèse, Flammarion.

La valeur de la science.

يمكن تلخيص اسمية لوروا في هذين التأكيدين:

• **العالم هو الذي يخلق الحادث**. وبما ان كل حادث علمي حادث ملفوف دوما في قوانين، فانه من المستحيل تعريف الحادث الخام وبالتالي لا يمكن البرهنة قط على موضوعية العلم.

• ان الاساس الذي يقوم عليه هذا «الخلق» للحادث العلمي من طرف العالم، **هو المواضعة**. ولذلك كان من غير المقبول وصف الحوادث العلمية بأنها صحيحة او خاطئة، فهي فقط ادوات للعمل.

ويشرح لوروا نظريته هذه قائلا(5): ان القوانين العلمية تغير بالتدريج المعطيات الواقعية. فهي تعيد صياغتها وتشكيلها، مما يبعدنا اكثر فأكثر من الاتصال المباشر مع الطبيعة. وهكذا فبينما تحتل الحوادث الطبيعية، في المرحلة الاولى، جماع ادراكنا ووعينا، تتحول الى مادة نصنع منها القوانين. وتظل هذه القوانين - في المرحلة الاولى - بمثابة رموز لتلك الحوادث. ولكن بمجرد ما نتمكن من صياغة هذه القوانين ينقلب الوضع، فتصبح القوانين، التي كانت من قبل رموزا للاشياء، اساسا تقوم عليه هذه الاشياء التي تصبح حينئذ مجرد رموز للقوانين، وبعبارة اخرى تصبح الاشياء مجرد نقطة التقاء القوانين المتضافرة.

ويلخص لوروا آراءه في النقطتين التاليتين:

1 - ليس القانون العلمي مجموعة كلية من الحوادث الطبيعية، ولا محصلة او خلاصة لهذه الحوادث، بل انه بناء رمزي يشيد على هذه الحوادث، فهو يشكل الدرجة الثانية لعملية اضفاء المعقولية على الطبيعة.

2 - المقصود من القوانين هو تعويض الحوادث الطبيعية والحلول محلها بوصفها معطيات تكون موضوع تأمل لاحق.

هذا ومن المفيد ان نشير هنا الى نقد بوانكاريه لاسمية لوروا هذه. يميز بوانكاريه في فلسفة لوروا بين النزعة اللاعقلية التي استوحاها من برجسون، وبين نزعته الاسمية. فيرفض تلك ويناقش هذه. وفي هذا الصدد يرى بوانكاريه ان هناك فعلا حوادث خام هي احساساتنا وذكرياتنا، والحادث العلمي في نظره، ليس الا الحادث الخام وقد ترجم بلغة ملائمة. وانشاءات العالم تنحصر في مستوى اللغة التي يعبر بها عن الحادث، فهو لا يخلق الحادث - كما يقول لوروا - وانما يخلق اللغة التي بها يعبر عن هذا الحادث. أما قواعد العمل فهي تنجح لانها صحيحة، وليس العكس كما ترى البرجماتية التي ينتسب اليها لوروا.

---

(5) انظر مقالته بعنوان: «العلم والفلسفة» في مجلة الميتافيزيقيا والاخلاق:
Revue de métaphysique et de Morale 1899.

نعم ان المبادىء توضع وضعا، ولكن هناك الى جانب هذا قوانين موضوعية لا تكذبها التجربة. وجانب المواضعة يتضاءل كلما انتقلنا من الهندسة الى الميكانيكا ومن الميكانيكا الى الفيزياء. وهكذا، فاذا كانت الهندسة مجرد لغة، فان الفيزياء بالعكس من ذلك تقدم لنا صورة عن العالم نفسه. نعم ان مدلول مجموع قوانين الطبيعة يتغير بتغيير مواضعاتنا، ولكن هذا التغير، اذا كان يعدل حتى من العلاقات القائمة بين القوانين، وهذا ما يحصل فعلا، فان هناك، مع ذلك، شيئا يبقى، شيئا مستقلا عن هذه المواضعات، ويقوم بدور اللامتغير الكوني L'Invariant Universel. ان القوانين الطبيعية، هي قوانين الامكان، لا قوانين الضرورة، بمعنى انها حقائق الواقع، لا حقائق العقل، وليست كما يقول لوروا متوقفة على الشكل الذي تختار به المبادىء. وهكذا يتضح ما قلناه قبل، من ان بوانكاريه يلح على موضوعية الحقائق العلمية من جهة، وعلى عدم ربط العلم بالمنفعة من جهة اخرى، فالعلم يهدف الى المعرفة، اولا وقبل كل شيء. واذا كان العلم نافعا فلانه حقيقي وليس العكس كما تقول النزعة البرجماتية. ولذلك ينادي بوانكاريه بـ «العلم من اجل العلم»(6).

ب - الاتجاه العقلاني - التفسيري

أ - ماكس بلانك والعوالم الثلاثة

من بين العلماء الذين ناهضوا هذه الاتجاهات الوضعية، العالم الالماني مكتشف الكوانتا ماكس بلانك Max Plank (1858-1947). يرى بلانك(7) ان مصدر المعرفة واصل كل علم هو التجربة. فالتجربة هي المعطى المباشر والواقع الحقيقي الذي يمكننا تصوره اكثر من غيره، وهو النقطة التي يمكن ان نربط بها منظوماتنا الاستقرائية الاستنتاجية التي تشكل العلم. ولكن، هل يكفي حصر العلم في مهمته الربط بين مختلف الملاحظات الطبيعية التي تنقلها الينا حواسنا عن العالم الخارجي، ربطا دقيقا نتوخى فيه اكثر ما يمكن من الدقة، بواسطة قوانين نلتزم فيها اكثر ما يمكن من البساطة؟ وبعبارة اخرى هل تقدم الوضعية، التي تنادي بذلك، الاسس المتينة القادرة على حمل صرح الفيزياء بأكملها؟ للجواب عن هذا السؤال: لا بد - في نظر بلانك - من السير مع دعوى الوضعيين الى نهايتها لنرى الى اين تقودنا الوضعية. ان ربط المعرفة العلمية بالمعطيات الحسية شيء بديهي، ولكن حصر المعرفة العلمية، وبالتالي العلم كله، في هذه المعطيات، وهي نتيجة تجارب شخصية، يؤدي الى هدم العلم، والغاء موضوعية الفيزياء.

هنا حقيقتان تنطلق منهما الفيزياء. وهما: **1) يوجد عالم خارجي مستقل عنا، 2) ان هذا العالم الخارجي غير قابل للمعرفة بكيفية مباشرة. لان كل ما نعرفه عنه هو ما تنقله**

(6) CF. La science et l'hypothèse introduction et aussi: La valeur de la science

(7) 1963 Marx Plank: L'Image du monde dans la physique Moderne. éditions Gantier. ( Médiation)- Paris 1963.

الينا حواسنا. والوضعيون يقولون ان ها هنا قضيتين متناقضتين، لا بد ان تكون احداهما صادقة والاخرى كاذبة. والصادقة هي القضية الثانية لان كل ما يمكننا معرفته هو معطيات التجربة. والواقع - يقول بلانك - انه ليس هناك اي تناقض بين القضيتين المذكورتين. ذلك لان هدف العالم الفيزيائي هو معرفة العالم الخارجي الواقعي، العالم الذي يقف وراء عالم احساساتنا وتجاربنا. وبما ان الباحث الفيزيائي لا يتوفر على وسائل أخرى غير ما تمده به تجاربه وقياساته فانه ينشىء لنفسه صورة عن هذا الذي تمده به التجربة والذي هو - كما يقول هيلمولتز - بمثابة رموز عليه ان يعمل على فكها واعطائها معنى.
ان موقف الباحث الفيزيائي، في هذا الصدد اشبه ما يكون بموقف العالم الفيلولوجي الذي يجتهد في فك معميات وثيقة قديمة تتعلق بحضارة مجهولة. فاذا اراد هذا الاخير الوصول الى نتيجة ما فلا بد له من ان يفترض كمبدأ، ان هذه الوثيقة تحمل معنى ما. وكذلك الشأن بالنسبة للفيزيائي، فلا بد له أن ينطلق من التسليم بوجود عالم خارجي واقعي يقف وراء الظواهر الحسية التي تربط بيننا وبينه. وبدراسة هذه الظواهر وبمقارنة بعضها ببعض، وبصياغتها في قوانين، ينشىء الباحث الفيزيائي عالما فيزيائيا يحرص فيه على ان يمده بنفس المعطيات التجريبية اذا هو وضعه مكان العالم الواقعي الحقيقي. واذن، هنا ثلاثة عوالم: **هناك اولا العالم الخارجي الواقعي الموضوعي** الذي لا بد من التسليم بوجوده، والذي لولا هذا التسليم بوجوده لما كان هناك علم. وتاريخ العلم يؤكد لنا ذلك، ان جميع الابحاث العلمية قد انطلقت من هذا المنطلق. **وهناك ثانيا عالم احساساتنا**، اي الظواهر الحسية والمعطيات التجريبية التي هي بمثابة اشارات ورموز تدلنا على وجود ذلك العالم الواقعي الحقيقي. **وهناك ثالثا عالم الفيزياء اي الصورة التي تقدمها لنا الفيزياء عن العالم**، وهذا العالم الفيزيائي هو، على العكس من العالمين الآخرين، من انشاء الفكر البشري، ويحاول دوما الاستجابة لمتطلبات معينة، ولذلك كان عالما يتغير باستمرار، ويتحسن باستمرار. اما وظيفته فيمكن النظر اليها من زاويتين: زاوية العالم الخارجي الواقعي، وزاوية عالم الاحساسات والظواهر، فاذا نظرنا اليه من الزاوية الاولى قلنا أن مهمته هي تمكيننا من الحصول على معرفة كاملة، بقدر الامكان عن العالم الواقعي. اما اذا نظرنا اليه من الزاوية الثانية فان وظيفته ستكون منحصرة في تقديم وصف بسيط بقدر الامكان، عن عالم الاحساسات. ومن العبث الاختيار بين هاتين الزاويتين، او الوظيفتين، لان الواحدة منهما، اذا اخذت بمفردها، لا تكفي قط. ان الفلاسفة الميتافيزيقيين ينطلقون فقط من الزاوية الاولى ويغفلون الزاوية الثانية، اما الوضعيون فهم، بالعكس من ذلك ينطلقون من الزاوية الثانية ويغفلون الزاوية الاولى. وهناك فريق ثالث وهم الفيزيائيون ذوو النزعة الاكسيومية، هؤلاء لا يهتمون اساسا بربط عالم الفيزياء وعالم الاحساسات بالعالم الواقعي، وانما يوجهون كل عنايتهم الى ابراز الانسجام داخل عالم الفيزياء، اي الكشف عن منطقه الداخلي. ان عمل هؤلاء مهم، ما في ذلك شك، ولكن هناك خطر يرافق محاولاتهم الاكسيومية هذه، ويتمثل خاصة في افراغ عالم الفيزياء من مادته وتحويله

الى صورة بدون محتوى.

هناك، اذن، ثلاثة اتجاهات رافقت الفيزياء الحديثة: الاتجاه الذي يقرأ في العالم الذي يشيده الانسان عن الواقع، الصورة الحقيقية لهذا الواقع، وهؤلاء هم الفلاسفة الميتافيزيقيون، والاتجاه الذي يقرأ في عالم الفيزياء صورة عالمنا الحسي، وهؤلاء هم الوضعيون واخيرا الاتجاه الذي يحصر نفسه في العالم الفيزيائي محاولا اكتشاف منطقه الداخلي وابراز تناسقه واتساق اجزائه، وهؤلاء هم الاكسيوميون. اما ماكس بلانك فهو يرى ان هدف العلم هو تقديم صورة كاملة وصحيحة عن الواقع الموضوعي، الواقع بالمعنى الميتافيزيقي، ولكن العلم لا يستطيع تقديم مثل هذه الصورة، لان كل ما يستطيع العلم فعله هو تقديم صورة مستخلصة من التجربة وعالم الظواهر، صورة تبقى تقريبية دوما. ولكن يجب، في نظره، ان لا نقف عند هذا الحد، فليس العالم الحسي هو وحده العالم الوحيد الذي يمكننا تصوره، بل هناك عالم آخر، تدلنا على وجوده الحوادث المختلفة، الحوادث اليومية العادية، والحوادث العلمية. وهذا العالم الخفي الذي يقدم لنا نفسه باستمرار، بواسطة تلك الحوادث، هو الهدف الاخير الذي يجري وراءه العلم. والاختلاف بين موقف الفيلسوف وموقف العالم يتلخص في كون الاول يجعل هذا العالم «الخفي» منطلقا له، في حين ان الثاني يضعه هدفا امامه.

### ب - أميل ميرسون وليون برانشفيك

ومن الفلاسفة الفرنسيين الذين خاضوا في هذا النقاش حول طبيعة النظرية الفيزيائية ووظيفتها، ودور المعرفة العلمية بصفة عامة اميل ميرسون Emile Meyerson (1859–1933) وليون برانشفيك León Brunschvicg (1869–1944).

يرى ميرسون(8) الفكر البشري لا يقنع، بطبيعته، بوصف الظواهر، بل ينشد الاسباب دوما. وتاريخ العلم يرينا بوضوح ان تفسير الحوادث كان دوما على رأس المشاكل التي اهتم بها العلم والعلماء. وهذه الرغبة الجامحة التي تسيطر على الفكر البشري والتي تجعل النظرية الفيزيائية تهتم بتفسير الحوادث، تتجلى ليس فقط في اندفاعنا المستمر نحو مزيد من البحث، بل ايضا في ذلك الاطمئنان الداخلي الذي نشعر به عندما نتوصل الى تفسير معين للحوادث. ان هذا الاطمئنان هو وحده الذي يشبع تلك الرغبة.

على ان المسألة، في نظر ميرسون، ليست مسألة رغبة فقط، بل هي مسألة واقع ايضا. ذلك لان التفسير في العلم اصبح حقيقة لا يمكن تجاهلها، ففي كل كتاب، ولدى كل باحث نجد هذا الميل الى التفسير، الى اقامة نظريات تفسيرية. واذا نحن قمنا باستقراء لعمل العلماء توصلنا الى هذه النتيجة، وهي ان القوانين لا تكفي وحدها لتفسير الظواهر. هذا ما يشعر به الرجل العادي والعالم المختص، سواء بسواء. ان القوانين تقوم بدور مهم في

(8) EM. Meyerson: De L'explication dans les sciences. Payot, Paris 1921.

العلم، هذا ما لا شك فيه، انها تمكننا من التنبؤ والسيطرة على الواقع. ومع ذلك فهي وحدها لا تكفي الفكر البشري الطموح بطبعهٰ، لا تشبع ميله الدائم نحو تفسير الظواهر ومعرفة كيفية حدوثها وأسبابها....

أما برانشفيك الفيلسوف صاحب «الفلسفة العقلانية العلمية»(9)، فلقد كان مؤمنا بالعلم متحمسا له، معارضا للنزعات الوضعية والنزعات البراجماتية والروحية وكل الاتجاهات التي تنال بكيفية او أخرى من العقل او من الحقيقة العلمية التي تمدنا بها الفيزياء الرياضية، والتي هي في نظره اعلى الحقائق واسماها واكثرها استحقاقا لحمل هذا الاسم.

يعارض برانشفيك الاتجاهات الوضعية بشدة، ويرى ان عالم التجربة المباشرة لا يضم اكثر مما يقدمه العلم، بل بالعكس من ذلك، انه عالم فقير وسطحي «عالم النتائج بدون مقدمات» كما يقول سبينوزا. وعلى الرغم من ان التجربة ضرورية لنا للاتصال بالعالم الواقعي، فهي لا تكفي وحدها. ان ما هو مهم في «الكشف» العلمي يعود الى تفسير الحوادث، لا الى مجرد استعراضها. والتجربة لا تملي علينا نوع التفسير الواجب اقتراحه، بل انها لا تستطيع ان تفصل في الفرضيات بكيفية نهائية، فليست هناك تجربة حاسمة كما ادعى بيكون، وتاريخ العلم يشهد على ذلك. واذن فان دور العقل مهم وأساسي، والمعرفة العلمية تجدد العقل بما تفرضه عليه من احتكاك متواصل مع الطبيعة الشيء الذي يمكنه من انشاء آفاق جديدة وبناء عوالم تزداد رحابة بازدياد نمو قدرة العقل على الحكم على الاشياء. ان نمو العقل ونمو العوالم التي ينشئها العقل بواسطة التجربة يتمان بتشكل متساوق، العقل ينمي المعرفة العلمية، والمعرفة العلمية بدورها تنمي قدرات العقل على التصور والحكم.

من هنا يتضح ان برانشفيك اذ ينتقد التجريبية بمختلف اشكالها لا يتبنى العقلانية الكلاسيكية كما هي، بل انه ينتقد كذلك جميع الآراء التي تعتقد ان النظرية الفيزيائية الرياضية يمكن ان تنمو وتتطور بواسطة المبادىء وحدها، دون تدخل المادة الطبيعية. لقد فشلت المحاولات التي كانت تهدف الى تطبيق القواعد الميكانيكية العامة على قضايا الفيزيائية الجزئية. ان تغطية جميع الحوادث الجزئية يتطلب مضاعفة عدد الفرضية الاولية مضاعفة مستمرة، والا بقي النظام النظري صوريا محضا لا علاقة له بالواقع.

وبالجملة يعارض برانشفيك الاتجاهات العقلانية التقليدية، والاتجاه الاكسيومي في الفيزياء، والنزعات الوضعية باختلاف ميولاتها، والاتجاهات الروحية ذات النزعة الصوفية، وفي مقابل ذلك كله يحاول بناء نظرية في المعرفة تقوم على الربط بين ابداعات الفكر وعمليات التحقيق التجريبي، في اطار مثالية ذات طابع خاص، مثالية تربط الوجود بالمعرفة وتحصر مهمة الفلسفة في «معرفة المعرفة» اي في نقد المعرفة(10).

---

(9) L Lavelle: La philosophie française entre les deux genres. Abier 1942 P. 177

(10) CF. Brunschvicg: L'expérience humaine et la causalité physique.

## 5) مشكلة الاستقراء

يمكن القول، بصفة عامة، ان جميع المناقشات التي عرضنا لها في هذا الفصل والفصل السابق والتي كانت تدور حول المعرفة العلمية وحدودها والنظرية الفيزيائية ووظيفتها، كانت تطرح، صراحة او ضمنا، مشكلة قديمة - جديدة، منطقية - فلسفية - ايبستيمولوجية، مشكلة الاستدلال التجريبي بوجه عام، واساس **الاستقراء بوجه خاص**. والاسمان، في الحقيقة، لمسمى واحد.

لقد كانت الاراء السابقة تنظر الى هذه المشكلة من الداخل اي من داخل العمل العلمي ذاته. وبعبارة اخرى كانت القضية مطروحة على مستوى الايبستيمولوجيا الداخلية او الخاصة. اما الآن فسنتعرض لنفس المشكلة من الخارج، اي على مستوى الايبستيمولوجيا الخارجية او العامة. كانت الاشكالية المطروحة على المستوى الاول تتلخص في هذا السؤال: **كيف تتكون المعرفة العلمية؟** وذلك ما عالجناه في الفصول السابقة حينما استعرضنا خطوات المنهاج التجريبي وخصائصه، وبنيانه الداخلي واسسه العامة، متنقلين هكذا، من الوصف الخارجي للمنهاج التجريبي الى تحليل عملياته وهيكله الداخلي العام، الى مناقشة اسسه ومرتكزاته. غير ان «مشكلة الاساس» هذه، قد عرضنا لها في هذا الفصل والفصل السابق في اطار اعم، اطار «الوقوف عند القوانين او البحث عن الاسباب» من جهة، والنظرية الفيزيائية وحدودها ووظيفتها من جهة ثانية.

أما الاشكالية المطروحة على المستوى الثاني، وهي ذات طابع فلسفي واضح، فتصاغ عادة كما يلي: **ما الذي يجعل العلم ممكنا؟** لماذا تنجح مناهجه؟ لماذا تتوافق الظواهر الطبيعية مع طريقتنا في التفكير؟ او لماذا تبقى الطبيعة خاضعة، او على الاقل متوافقة، مع القوانين التي نستخلصها منها؟ انها الاشكالية التي طرحها **كانت** وحاول حلها في كتابه **«نقد العقل الخالص»**.

نعم ان هذه الاشكالية تطرح في عموميتها مشكلة علاقة الفكر بالواقع، وذلك ما عالجناه في الجزء الاول من هذا الكتاب (الفصلان الرابع والخامس)، غير ان المسألة الاساسية المطروحة هنا، في مجال البحث التجريبي، هي اخص من ذلك. انها مشكلة **«اساس الاستقراء»**. فماذا تعنيه هذه المشكلة؟.

يميز عادة في الاستدلال بين الاستدلال الاستنتاجي **Raisonnement deductif** والاستدلال الاستقرائي Raisonnement inductif. والاساس الذي يقوم عليه النوع الاول هو مبدأ **الهوية** اي اتساق الفكر مع نفسه، وعدم تناقضه. وبما ان الاستدلال الاستنتاجي يتناول صورية الفكر، فان التقيد بمبدأ الهوية يكفي لضمان صحة النتائج، من الناحية الصورية طبعا. ولكن **الاستدلال الاستقرائي** يتناول معطيات التجربة، فهو انتقال من حوادث جزئية الى قانون عام. **الحوادث الجزئية موجودة في الطبيعة اما القانون العام فهو من انشاء الفكر**. وهنا تطرح مشكلتان ايبستيمولوجيتان: المشكلة الاولى هي **مشكلة**

الاساس الذي نعتمد عليه في عملية الاستقراء التي تقفز بنا الى القانون العام. والمشكلة الثانية هي مشكلة الضمان الذي يضمن عملية القفز هذه، اي الانتقال من الجزئي الى الكلي، من الحوادث الفردية الى القانون العام. وبعبارة اخرى تطرح مشكلة «اساس الاستقراء» مسألتين من مستويين مختلفين:

1 - المسألة الاولى منطقية ابيستيمولوجية، يمكن التعبير عنها كما يلي: ما هي المبادىء الاخرى - غير المبادى المنطقية الخاصة بالاستدلال الاستنتاجي - التي يرتكز عليها الاستدلال التجريبي (= الاستقرائي). واذا كانت هذه المبادىء متعددة فكيف يمكن ارجاعها الى نوع من الوحدة؟.

2 - المسألة الثانية فلسفية محض، وتتلخص في السؤال التالي: ما الذي يسمح لنا باعتبار هذه المبادىء مبادىء صادقة. وماذا يؤسس صدقها في نفوسنا(11).

لقد طرحت هذه المشكلة، في مظهرها الفلسفي، اول ما طرحت، في الفكر الاسلامي، وذلك اثناء المناقشات الكلامية التي دارت بين الاشاعرة والفلاسفة. وكان ابو حامد الغزالي اول من طرح المشكلة بعمق في مناقشته لادلة الفلاسفة حول مسائل ميتافيزيقية تتعارض - ظاهريا على الاقل - مع المنظور الاسلامي(12). غير ان الاطار الذي بقيت محدودة بحدود هذا الاطار. اما في العصر الحديث فلقد كان دافيد **هيوم D. Hume** (1711-1776) اول من طرح المشكلة في اطار فلسفي معرفي(13)، اطار **مبدأ السببية** بوصفه يتضمن، في آن واحد، **فكرة ثبات القوانين وفكرة عموميتها**.

تساءل هيوم قائلا: لماذا نعتقد في مبدأ السببية؟ ان فكرة ثبات القوانين الطبيعية واطرادها ليست فكرة حدسية، وليست كذلك نتيجة لبرهان منطقي. قد يقال ان الاستقراء نفسه مؤسسا على مبدأ السببية؟ واذن فلا يمكن تأسيس ثبات القوانين على الاستقراء لان المشكلة المطروحة هي اساس الاستقراء نفسه! وأمام هذا المأزق لم يجد هيوم تفسيرا آخر للسببية غير ذلك الذي قال به الغزالي من قبل، اي ارجاعها الى **العادة والاقتران**. لقد اعتدنا مشاهدة الحوادث يتلو بعضها بعضا، فاستنتجنا من هذا الاقتران بين الحوادث ما نسميه «السببية» هذا في حين انه لا شيء يجعل اقتران الحوادث، اي حدوث اللاحقة عند حدوث السابقة، اقترانا ضروريا. فحدوث الاحتراق يتم، حسب تعبير الغزالي وهو نفسه ما قال به هيوم، عند وجود النار، لا **بوجودها**.

لقد نقل هيوم، اذن، السببية من ميدان الحوادث الطبيعية الى ميدان الفكر.

---

11) CF, Blanché: La méthode expérimentale et la philosophie de la physique. P. 311. Coll. U2-Armand Colin-Paris 1969.

(12)الغزالي: تهافت الفلاسفة: المسألة السابعة عشرة.

(13)D. Hume: Enquête sur l'entendement humain, trad. André le Roy. aubin-Paris 1947.

فالرابطة السببية – وهي ترجع الى العادة – قائمة بين افكارنا، لا بين الظواهر، والضرورة ليست في الاشياء، بل في الفكر، وهكذا حول السببية الموضوعية الى سببية ذاتية تقوم على توقع ما سيحدث في المستقبل على اساس ما جرى في الماضي. والمبدأ المتحكم في هذا التوقع هو «تداعي المعاني»، لا خضوع الطبيعة لقانون السببية. والنتيجة هي انه لا شيء يضمن لنا اطراد صحة هذا التوقع، اي اطراد قوانين الطبيعية. وبالتالي لا شيء يؤسس العلم. (شك هيوم).

تلك هي النتيجة التي ايقظت كانت من سباته، فراح يبرهن على امكانية العلم، من الناحية المنطقية، بعد ان لاحظ ان الامكان الواقعي للعلم شيء تؤكده الرياضيات والعلوم الطبيعية. العلم موجود كواقع، ولا يبقى الا البرهنة المنطقية على امكانية وجوده، وهذه البرهنة تنطلق من تحليل المعرفة المنطقية على امكانية وجوده، وهذه البرهنة تنطلق من تحليل المعرفة العلمية قصد اكتشاف العنصر او العناصر التي جعلتها ممكنة فعلا.

ومن اجل الوصول الى هذا الهدف يبدأ كانت بالتمييز بين «أحكام التجربة» و«احكام الادراك الحسي» اي التمييز بين المعرفة العلمية، وبين الانطباعات الحسية التي تنقلها الينا حواسنا فيلاحظ، باديء ذي بدء، ان مصدر المعرفة العلمية، او التجربة – بالمفهوم الخاص الذي يعطيه كانت لهذه الكلمة والذي سيتضح فيا يلي – هو تلك الانطباعات الحسية ذاتها، ولكن هذه وحدها لا تكفي بل لا بد من اضافة اصيلة يقوم بها الفهم (أو الذهن) لتتحول الاحساسات الى معرفة – او تجربة. ذلك لان ادراكاتنا الحسية لا تنتظم في تجربة، اي في شبكة من العلاقات يقبلها الجميع، الا اذا خضعت لبعض الشروط التي يفرضها الفكر على الروابط القائمة بين الاشياء. ومن هنا كان الفهم Entendement مشرعا.

وهذه الشروط هي عبارة عن مباديء، هي في آن واحد، تركيبية وقبلية: هي تركيبية لانها ليست صورية محض كالمباديء المنطقية. وهي قبلية لانها لا تستخلص من التجربة، بل هي شروط للتجربة. ان احكام العلم – او قضاياه – احكام موضوعية يتفق الناس كلهم عليها. لماذا؟ لانها تتضمن مباديء قبلية وضرورية هي لها بمثابة القوالب او اللحام (صورتا الزمان والمكان، والمقولات). اما العادة التي يقول بها هيوم فلا يمكن ان تؤسس ترابطا موضوعيا، بل، فقط، ترابطا ذاتيا للاحساسات.

تلك فكرة موجزة عن الحل الذي اقترحه كانت للمشكلة التي نحن بصددها، ولا نحتاج الى التذكير هنا بأن كانت قد أسس فلسفته على فيزياء نيوتن المبنية على فكرتي الزمان المطلق والمكان المطلق ولا نحتاج كذلك الى التذكير بأن الهندسات اللااوقليدية من جهة، ونظرية النسبية من جهة اخرى قد هدمت هذا الاساس الذي أسس عليه كانت فلسفته الترنساندنتالية هذه. وانما نريد ان نشير فقط الى ان محاولة «كانت» تنطوي على خطأ منطقي، وهذا ما كشفت عنه الانتقادات التي وجهت اليها من جانب المناطقة الوضعيين،

وعلى رأسهم ريشنباخ Rechenbach

يمكن صياغة محاولة كانت صياغة منطقية كما يلي:

1 - صحة الاستدلال الاستقرائي يلزم عنها اطراد قوانين الطبيعة.

2 - قوانين الطبيعة مطردة لانها احكام تركيبية قبلية.

3 - ان اطراد قوانين الطبيعة يلزم عنه صحة الاستدلال الاستقرائي.

هذا النوع من البرهنة ينطوي على خطأ منطقي في نظر ريشنباخ والمناطقة الوضعيين عموما. والقضية يطرحونها على هذا الشكل: اذا كانت قضية ما تستلزم قضية اخرى، فان فساد القضية الثانية يستلزم فساد القضية الاولى، **ولكن صحة الثانية لا تستلزم ضرورة صحة الاولى**. وبعبارة اخرى: **اذا كان فساد النتائج يؤدي الى فساد المقدمات، فان صحة النتائج لا تؤدي ضرورة الى صحة المقدمات**. فكم من نتائج صحيحة استنتجت من مقدمات فاسدة. هذه قاعدة منطقية اساسية، في نظر المناطقة الوضعيين، لم يحترمها كانت. فهو يستنتج من كون صحة الاستدلال الاستقرائي يستلزم اطراد قوانين الطبيعة، ان اطراد قوانين الطبيعة - الذي اعتقد انه برهن على ضرورته - يستلزم صحة الاستدلال الاستقرائي. وبعبارة اخرى يستنتج من «صحة» النتيجة، وهي «اطراد قوانين الطبيعة»، «صحة» المقدمة وهي «صحة الاستدلال الاستقرائي». وهذا غير صحيح ضرورة. والنتيجة هي ان المشكلة التي طرحها هيوم بقيت، كما كانت، بدون حل.

من هنا يتضح لنا لماذا يعارض الوضعيون الجدد النظريات التفسيرية ويحصرون وظيفة النظرية الفيزيائية في دمج القوانين الطبيعية بعضها مع بعض وارجاعها الى اقل عدد ممكن من العبارات الرياضية البسيطة والواضحة. ذلك لان المعرفة العلمية معرفة تجريبية، ليست ضرورية ولا يقينية لان اساسها هو الاستقراء **والاستقراء يعطينا احتمالات وترجيحات، لا معارف يقينية**. ولذلك كان العلم **يصف ولا يفسر**.

ولكي يتجنب المناطقة الوضعيون السقوط في الشك الذي وقع فيه هيوم يحاولون تبرير **الاستقراء**، لا البرهنة على صحته. وبالتالي يطرحون قضية السببية في اطار مرن اوسع، اطار الاحتمالات والاحصاء. يقول بيرس Peirce «**ان ما يعطي للاستدلال الاستقرائي قيمته هو انه يستعمل طريقة من شأنها، اذا ثابرنا على اتباعها بكيفية مرضية، ان تقودنا، بقوة طبيعة الاشياء نفسها الى نتيجة تقترب، مع طول الزمن من الحقيقة اقترابا متزايدا**»(14). ان هذا يعني اننا لا نستطيع تأسيس الاستقراء تأسيسا برهانيا، لان كل ما بامكاننا فعله هو **تبرير استعماله**، وذلك بالنظر اليه كأحسن وسيلة نمتلكها، وتمكننا من توقع الحوادث وانه علاوة على ذلك يعمل هو نفسه على تصحيح نفسه باستمرار.

والى مثل هذا الرأي يذهب ريشنباخ، فهو يرى انه اذا كان من المستحيل، كما يقول

(14)ذكره بلانشي في المرجع المذكور آنفا ص315.

هيوم، البرهنة على صدق الحكم الاستقرائي، فلا اقل من تبريره، حتى لا نتوقف كما توقف هيوم. اما كيفية هذا التبرير فيشرحها ريشنباخ كما يلي:

الحكم الاستقرائي - في نظره - شبيه بالبرهان. فالمراهن لا يراهن اعتباطا، بل على اساس ما يتوفر عليه من المعلومات حول موضوع الرهان. وهذه المعلومات هي نفسها التي تبرر ايضا القوة التي يراهن بها: فاذا اتضحت لديه حظوظ النجاح، ذهب في الرهان الى مدى بعيد، والعكس بالعكس. وهكذا فموقفنا من الطبيعة يشبه تماما موقف المراهن في سباق الخيل: ان كثرة المعلومات الصحيحة التي نتوفر عليها هي التي تدفعنا الى الاعتقاد في صحة الحكم الاستقرائي، ولكن ذلك لا يعني اليقين، بل الرجحان فقط. ويجب ان لا ننسى ابدا ان الحقيقة التجريبية ليست سوى درجة **عالية من الاحتمال**، وان الخطأ التجريبي ليس سوى **درجة من الاحتمال منخفضة**.

. ان نظرية الاحتمالات قد أدت - يقول ريشنباخ - الى احداث تحول عميق في تفسير القضايا العلمية. ان القضية التي تتعلق بحادثة يحتمل حدوثها، لا يمكن تأكيدها كقضية حقيقية، ومع ذلك فنحن نأخذ بعين الاعتبار مثل هذه الحقيقة عندما يتعلق الامر بمشاغلنا في المستقبل، وهذا راجع الى اننا مضطرون للعمل، وأننا لا نستطيع انتظار الحادثة حتى تحدث، بل اننا نجد انفسنا ملزمين باتخاذ قرار بشأنها قبل حدوثها، وبالتالي سيكون علينا ان نبني تصرفاتنا على هذه القضية **المحتملة**.

ان هذا التصور الجديد للطابع المنطقي للقضايا العلمية يفتح لنا بابا واسعا لمعالجة المشكلة الاساسية، مشكلة الاستقراء. وهكذا فاذا تخلينا عن طلب الحقيقة كاملة، واذا امسكنا عن النظر الى القضايا التجريبية بوصفها قضايا صحيحة، فاننا سنجد انفسنا امام امكانيات كبيرة لتبرير الاستقراء، هذا التبرير الذي فشل الفلاسفة العقليون في اقامته. ان الاستقراء يقدم لنا درجة احتمالية تدفعنا الى المراهنة بهذا المقدار او ذاك. ان مقدار الرهان هو نفسه درجة الاحتمال.

ويميز ريشنباخ بين التبرير الانطولوجي والتبرير الايبستيمولوجي لمبدأ الاستقراء وهو يرى ان هيوم قد برهن عن استحالة التبرير الانطولوجي اي استحالة البرهنة على كون الحكم الاستقرائي يعبر فعلا عن واقع طبيعي. اما نحن - يقول ريشنباخ - فننظر الى المسألة من زاوية ايبستيمولوجية، ونحاول تبرير معرفتنا بالطبيعة. يقول ريشنباخ ان الاطروحة التي ندافع عنها يمكن صياغتها بالشكل التالي:

«ان امكانية التنبؤ تفترض امكانية تصنيف الحوادث بشكل يجعل تكرار عملية الاستقراء يؤدي الى النجاح. وبناء على هذا فان قابلية المنهاج الاستقرائي للتطبيق هي الشرط الضروري لامكانية التنبؤات. ويمكن القول ايضا: اذا كانت التنبؤات ممكنة، فان الطريقة الاستقرائية هي الشرط الكافي للحصول عليها. قد تكون هناك طرق اخرى تمكن من التنبؤ، ولكننا لا نعرفها، ولذلك كان الاستقراء بالنسبة الينا هو المنهاج الضروري

للحصول على تنبؤات »(15).

على أساس هذه الرغبة في تبرير الاستقراء وبدافع منها عمد المناطقة الوضعيون الى انشاء « **منطق للاستقراء** »، هدفه لا بيان الطريقة او الطرق التي تمكن من الانتقال من الحوادث الجزئية إلى القانون العام، او من الفرضية الى القانون، انتقالا يقينيا، كما حاول بيكون وجون ستيوارت ميل من قبل، ولا البرهنة على الصدق المادي لنتائج المقدمات، ولا صياغة القواعد التي تكتشف بها القوانين... الخ. كلا. ان هدف « المنطق الاستقرائي » هو - كما يقول كارناب - **تبرير الفرضيات** التي يقع عليها الاختيار، على اساس المعطيات التجريبية التي بنيت عليها. ان موضوع هذا المنطق الاستقرائي ليس هذه المعطيات نفسها، ولا الفرضية التي تنسجم معها، بل العلاقة بينهما، اي البحث في مدى التبرير الذي تقدمه المعطيات الفرضية. وبعبارة اخرى ان موضوع المنطق الاستقرائي هو العلاقة المنطقية التحليلية المحض التي تقوم بين قضيتين او مجموعتين من القضايا، العلاقة التي لا يتوقف صدقها على الحقيقة التجريبية للقضيتين بل فقط على العلاقة الصورية القائمة بينهما. ومن ثمة فان ما يهتم به هذا المنطق، بالدرجة الاولى، هو نوع التأكيد المنطقي الذي تقدمه النتيجة للمقدمة.

وفي هذا الصدد يميز كارناب بين ثلاثة انواع من التأكيد:

أ - **التأكيد الايجابي**. فعندما نقول مثلا، ان «ع تؤكد ل» او «ل تعتمد على ع» فلا نعني بذلك سوى تأكيد العلاقة بين «ع» و«ل» لا بيان خصائص كل منهما.

ب - **التأكيد بالمقارنة**، وذلك بالمقارنة بين فرضية ونتيجة وفرضية اخرى ونتيجة مثل: ع تؤكد ل مما تؤكد عَ،لَ. وايضا المقارنة بين فرضيتين ونتيجتين، او بين نتيجة وفرضيتين، أو بين نتيجتين وفرضية.

ج - **التأكيد الكمي**. وهو اعطاء التأكيد مقدارا عدديا، وذلك بالقول مثلا ان هذه النتائج تؤكد هذه الفرضيات بنسبة مئوية معينة.

هذا المنطق الاستقرائي يريد له كارناب ان يكون اساسا منطقيا للاحصاء عندما يبلغ الاحصاء كعلم درجة عالية من التقدم، مثلما ان المنطق الاستنتاجي الذي أسسه راسل وهوايتهيد قد « اصبح » اساسا للرياضيات(16).

---

(15) H. Reichenbach: Causalité et induction–Buletin de la Société française de philosophie. Juillet–Septembre 1937. P. 138–144

- ريشنباخ: نشأة الفلسفة العلمية. ترجمة فؤاد زكريا. دار الكتاب العربي للطباعة والنشر القاهرة. وكذلك: Carl G. Humpel: Eléments d'Epistomologie. (trad. bertrant Saint–Sernin). Coll. U2 Arman Colin. Paris 1972.

(16) انظر نصا لكارناب اورده بلانشي في المرجع المشار اليه آنفا ص 355 وما بعدها.

هل سينجح منطق كارناب الاستقرائي فيما فشل فيه منطق راسل الاستنتاجي؟.

لنكتف بالقول هنا ان المنطق لا يؤسس العلم، بل ينظمه وينسق بين اجزائه. لقد فشلت محاولة راسل في تأسيس الرياضيات على المنطق، لان المنطق لا يمكن ان يقدم للرياضيات عنصراً خصوبيا. والمنطق الاستقرائي الذي اسسه كارناب لا يكفي لتأسيس العلم. لان العلم يقوم على الاكتشاف، على الابداع والخيال، ولا يتدخل المنطق الا لتنظيم هذه المكتشفات ونقدها.

يبقى بعد ذلك ان العلم لا بد له من منطلقين:

- الاعتقاد في وجود العالم الخارجي وجودا واقعيا مستقلا عن الذات والاحساسات والقوالب الفكرية.
- الاعتقاد في اطراد قوانين الطبيعة وثباتها.

بدون هذين الشرطين لن يكون هناك علم. اما كيف نبني موضوعية العالم الخارجي وكيف نحل مشكلة اطراد قوانين الطبيعة فتلك قضية عالجناها في الجزء الاول من هذا الكتاب (الفصل الخامس) على ضوء الابحاث المعاصرة في البنيات ونظرية الزمر.

# القسم الثاني

# تطور الافكار في الفيزياء

لعل اهم مشكل تمحورت حوله الافكار في الفيزياء - الكلاسيكية منها والحديثة - خلال جميع مراحل تطورها: مشكل المتصل والمنفصل. نعني بذلك طبيعة تركيب المادة بمختلف تجلياتها («المادة الصلبة»، الحرارة، الكهرباء، الضوء)، هل تقوم على الاتصال، ام على الانفصال؟ هل تقبل التجزئة الى ما لا نهاية له، ام انها تنحل في الاخير الى اجزاء لا تتجزأ.

وهكذا يمكن القول، بصفة اجمالية، ان تاريخ الافكار والنظريات في العلوم الطبيعية هو تاريخ الصراع بين هذين التصورين المتباينين المتعارضين. وقد قامت الفيزياء الحديثة على اساس محاولة «التوفيق» بينهما ودمجهما في تصور واحد. وسنعالج في الفصل الاول قصة هذا الصراع في الفيزياء الكلاسيكية، فيزياء ما قبل اوائل القرن العشرين، على ان نعالج في الفصل الثالث قصة هذا الصراع نفسه في الفيزياء الحديثة، حيث اتخذ ابعادا جديدة زعزعت العلم الكلاسيكي كله (الثورة الكوانتية)، وذلك بعد ان نعرج على نظرية النسبية التي سنخصص لها الفصل الثاني الذي سيعالج مظهرا آخر من مظاهر تطور الافكار في الفيزياء، ذا صلة وثيقة بسياق تطورها العام.

# الفصل الاول

## المتصل والمنفصل في
## الفيزياء الكلاسيكية

### 1 - مفهوم الاتصال والانفصال.

تستعمل كلمة « متصل » Continu في اللغة العادية كوصف لشيء لا انقطاع فيه. نقول عن الصوت او الحبل او الشريط السينمائي انه متصل، ونقصد بذلك انه يشكل كلا واحدا، لا مجموعة اجزاء، على الرغم من علمنا انه يقبل التجزئة الى ما لا يحصى من الاجزاء.

وفي الاصطلاح الفلسفي تستعمل الكلمة في نفس المعنى تقريبا، غير انها هنا قد تستعمل وصفا لشيء او إسما لواقع معين، وفي كلتا الحالتين يقصد بها ما يشكل واقعا، او موضوعا، غير ذي اجزاء متميزة كالامتداد عند ديكارت مثلا.

وفي الرياضيات يميز بين الهندسة وموضوعها الكم المتصل والحساب وموضوعه الكم المنفصل. وقد عالجنا مشكل الاتصال الهندسي في الرياضيات في الجزء الاول من هذا الكتاب، سواء خلال العرض، او خلال النصوص.

وعلى العموم، فالمتصل، واقع وحيد، يمتد ويسترسل اما في المكان واما في الزمان، ليس فقط لان اجزاءه متجاورة متلاحمة، بل لانها ايضا مشدودة الى بعضها بعضا بقوة. ذلك لاننا نفترض دوما، كما يقول بوانكاريه، وجود رابطة بين عناصر المتصل، رابطة داخلية صميمة تجعل منه كلا واحدا. وعلى العكس من ذلك الاشياء المتراكمة او المصفوفة، فهي منفصلة Discontinue، ولا توصف بالاتصال على الرغم من تماسها، مثلها في ذلك مثل الحركات المتتابعة التي يصغر الفاصل بينها الى اقصى حد. فالسبحة، مثلا، تتألف من حبات ومن خيط ينتظم هذه الحبات. حبات السبحة تشكل واقعا منفصلا، لانه لا يمكن ان نزيد في عددها او ننقص منه الا بوحدات كاملة، اي بحبات كاملة. اما الخيط الرابط بينها فهو متصل، لانه من الممكن الزيادة فيه او النقصان منه بمقادير

صغيرة، دون ان يكون هناك حد لهذا الصغر، اذ يمكن ان يتصاغر المقدار الى ما لا نهاية له.

واذا انتقلنا الآن الى الفيزياء فاننا سنجد انفسنا امام نظريات متضاربة، تتناوب السيطرة في هذا الميدان او ذاك، بعضها يعتمد مفهوم الاتصال وبعضها يستند على مفهوم الانفصال، الشيء الذي يعبر عنه في تاريخ العلم الحديث بـ «شكل المتصل والمنفصل». فماذا يقصد، بالضبط، بهذا المشكل في ميدان الابحاث الفيزيائية؟.

يقول لوي دوبروى[1]: «ان مشكل المتصل والمنفصل هو مشكل ذلك «التعارض الكلاسيكي بين العنصر البسيط الذي لا يتجزأ، وبين المتصل القابل للقسمة. والعنصر البسيط غير القابل للقسمة هو، في العلم الحديث، ما يعبر عنه بالحبة: حبة من المادة، او حبة من الضوء، كالنوترون والالكترون والفوتون. هذه الحبة تكشف لنا عن نفسها ككيان فيزيائي غير قابل للقسمة، قادر على ان يقوم، تارة، باحداث رد فعل او اثر يسري في حيز من المكان يمكن تحديده وضبطه بالتقريب، وطورا بتبادل للطاقة او للحركة او للقوة (حين الاصطدام مع غيره من الكيانات المماثلة له)، مما يجعله يظهر كوحدة دينامية مستقلة. انه العنصر المنفصل الذي يبدو انه يشكل فعلا، في اعماق العالم المتناهي في الصغر، الواقع النهائي والاخير. وبالعكس من ذلك الممتد المتصل القابل للقسمة، فهو في النظريات الحديثة والقديمة، على السواء، المجال Le champ أساسا، اي مجموع الخصائص الفيزيائية التي تحدد وتميز، في كل لحظة، مختلف نقاط المكان، التي يعبر عنها - رياضيا - بواسطة دوال متصلة على العموم، احداثياتها: الزمان والمكان».

واذا كانت مشكلة الاتصال والانفصال قد احتدم النقاش فيها، خاصة مع قيام الفيزياء الحديثة في اوائل هذا القرن، فانها قد سيطرت منذ القديم على النقاش الذي دار، خلال تطور العلم، حول طبيعة المادة بمختلف تجلياتها. ويهمنا هنا ان نستعرض «تاريخ» هذا النقاش، ومن خلاله ستكشف لنا ابرز مراحل تطور الافكار والنظريات في العلم الكلاسيكي.

## 2 - ذرات الفلاسفة وجواهر المتكلمين.

كان ديمقرطس اول الفلاسفة اليونانيين الذين تحدثوا عن الذرة. فلقد صاغ مذهبا ماديا ذريا متماسكا يقوم على الانفصال. لقد قسم ديمقرطس الوجود الواحد المتصل الثابت المتجانس الذي قال به بارميندس من قبل، الى ذرات لا نهائية العدد، لها جميع خصائص الوجود البارميندي من حيث الصلابة والخلود، ذرات منفصل بعضها عن بعض تتحرك في الخلاء (او الفراغ).

وهذه الذرات، كما يدل على ذلك اسمها في اللغة اليونانية، عبارة عن «لا منقسمات»،

(1) Louis de Broglie: Continue et Discotinu en physique moderne P. 8. Albin Michel Paris 1949

لا ترى بالعين المجردة، صلبة لا تنقسم ولا تتغير، وانما يختلف بعضها عن بعض في الشكل والوضع والترتيب. وهي الى جانب ذلك تتحرك باستمرار في جميع الاتجاهات، فلا تسقط الى اسفل لانها غير ذات وزن. كانت هذه الذرات - كما يقول ديمقرطس - منتشرة، في بادىء الامر، في الخلاء اللانهائي، ثم تجمعت المتشابهات منها بواسطة **حركة الدوامة** Tourbillon فتشكلت منها العناصر الاربعة (التراب، الماء، الهواء، النار،) ومن هذه العناصر تألفت الاجسام. فاختلاف الاجسام، اذن، انما يرجع الى اختلاف الذرات التي تتكون منها، وليس هناك شيء في الوجود غيرها وما يتشكل منها. اما حركتها فهي من ذات نفسها لا من قوة خارجية، فكل شيء يسير **بحتمية** القانون الطبيعي: «**كل يصدر عن سبب وبالضرورة**».

تبنى ابيقور مذهب ديموقرطس، ولكنه ادخل عليه تعديلات، اهمها ما يتعلق بحركة الذرات، يرى **ابيقور** ان الذرات تتحرك **حركتين**: حركة في الخلاء كما يقول ديمقرطس، وحركة اخرى داخلية اهتزازية هي علة القفز بعد الصدمة. وهكذا فحركة الاجسام كما تبدو لنا هي نتيجة لحركتين، حركة الذرات داخل نفسها، وحركتها داخل المركبات التي تشكل الاجسام. ولما كانت حركة الذرات راجعة الى طبيعة الذرات نفسها، لا الى قوة خارجية، فهي ازلية ذات سرعة واحدة ومتجهة الى اسفل. واكثر من ذلك فهي ليست حركة مستقيمة بل يعتريها بعض الانحراف الشيء الذي يسمح بتلاقي الذرات، وبالتالي بتشكل الاشياء. وقد ادخل ابيقور هذا الانحراف في حركة الذرات ليتمكن من تفسير **حرية الارادة** البشرية. وهكذا فقوانين الطبيعة ضرورية، ولكن الانحراف عدم تحديد، اي حرية.

هذا ملخص ما راج في الفلسفة اليونانية بصدد الذرة. واذا كانت هذه الآراء قائمة على مجرد التخمين والملاحظة العامية، فانها مع ذلك قد أثارت مشكلة تركيب المادة. وعلى الرغم من ان هذه المشكلة لم تطرح طرحا علميا الا مع بداية القرن التاسع عشر - كما سنرى - فلقد ظلت مع ذلك قائمة يتناولها الفلاسفة. وقبل الحديث عن المشكلة كما طرحت عند المفكرين المسلمين وفلاسفة عصر النهضة الاروبية نلاحظ ان **القول بالانفصال** (نظرية ديمقرطس) **يؤدي الى الحتمية والضرورة**، الشيء الذي دفع بابيقور الى القول بالانحراف لينقذ الحرية. **وستظل الحتمية مرتبطة بالمنفصل** كما سنرى في العلم الحديث.

أما في الاسلام فلقد خاض المتكلمون في مسألة الذرة، وبتعبيرهم **الجوهر الفرد** او **الجزء الذي لا يتجزأ**. وسواء استقوا آراءهم في هذا الموضوع من الفلسفة اليونانية او من بعض المذاهب الهندية - كما يقول بعض المستشرقين - فانهم قد صاغوا مذهبا ذريا يختلف من بعض الوجوه عن المذاهب السابقة، نظرا للاعتبارات الدينية والكلامية التي طرحوا في اطارها قضية الذرة.

يذكر مؤرخو الفكر الاسلامي ان **ابا الهذيل العلاف**، شيخ المعتزلة، هو اول من قال

في الاسلام بالجزء الذي لا يتجزأ، او الجوهر الفرد (الذرة)، ويصفه بأنه لا طول له ولا عرض ولا عمق، ولا اجتماع فيه (بسيط غير مركب) ولا افتراق (لا ينقسم)، وانه يجوز ان يجامع غيره او يفارقه، وان الخردلة يجوز ان تتجزأ نصفين، ثم اربعة، ثم ثمانية الى ان يصير كل جزء منها لا يتجزأ - وهذا الجزء الذي لا يتجزأ لا يقبل من الاعراض الا السكون والحركة والتماس، - حتى اذا اجتمعت الاجزاء (ستة على الاقل، لان الجسم يتكون من ستة اوجه كالمكعب مثلا) صارت جسما، وحينئذ يقبل الاعراض الاخرى مثل الرائحة واللون والطعم.

وقد تبنى **الاشاعرة**، عموما، فكرة الجزء الذي لا يتجزأ، فقالوا ان العالم الحسي عبارة عن اجسام. والاجسام جواهر واعراض. والجواهر الفردة متايزة، غير متصلة اذ لا حجم لها. وكما قسموا الاجسام الى جواهر فردة لا امتداد لها، قسموا الزمان كذلك الى آنات لا مدة لها. فالمكان والزمان، كلاهما عبارة عن اجزاء منفصلة بينهما فراغ، اجزاء لا يفعل بعضها في بعض ولا ينفعل به (لان الفاعل الحقيقي في رأيهم هو الله، ومعلوم انهم نفوا حرية الارادة البشرية وقالوا **بالكسب**، فالقدرة التي يفعل بها الانسان هي من الله، ولكن الانسان، يكسب افعاله اي يسأل عنها ويتحمل نتائجها. ونظرية الكسب هذه غامضة، ولذلك يقال «اخفى من كسب الاشاعرة»).

وانفرد **النظام** المعتزلي وبعض المتكلمين الاخرين بالقول بأنه «لا جزء الا وله جزء، ولا بعض الا وله بعض ولا نصف الا وله نصف، وان الجزء جائز تجزئته ابدا، ولا غاية (لا نهاية له) من التجزؤ». ومن النتائج التي تترتب على انكار النظام للجزء الذي لا يتجزأ **استحالة الحركة** وقطع المسافة (كما قال زينون من قبل)، ولكنه تغلب على ذلك بالقول **بالطفرة**، ومعناها «ان الجسم قد يكون في مكان ثم يطفر (يقفز) منه الى المكان السادس او العاشر من غير مضي بالامكنة المتوسطة بينه وبين العاشر».

هذا وبغض النظر عن الاعتبارات الكلامية والدينية التي وجهت آراءهم في هذا المجال هذه الوجهة او تلك، فلقد ناقشوا موضوع الذرة وابدعوا فيه آراء ومذاهب لا تخلو من الطرافة. من ذلك رأى النظام في **الطفرة** الذي يذكرنا بنظرية الكوانتا، ورأى **جلال الدين الرومي** المتصوف الذي يروى عنه قوله: **اذا اطلعت على الذرة فستجدها عبارة عن شمس تدور وحولها الكواكب والنجوم**، وهو قول يذكرنا بالتصور الحديث لتركيب الذرة كما سنرى ذلك بعد. ولكن علينا ان لاننساق مع الهوى فنعمد الى مقارنات لا يبررها المنطق ولا التاريخ. فالاطار الذي طرحت فيه مسألة الذرة سواء عند الفلاسفة اليونان او عند المتكلمين في الاسلام غير الاطار الذي طرحها فيه العلم الحديث. هذا فضلا عن ان القول بهذا الرأي او ذاك لم يكن في العصور القديمة والوسطى ناتجا عن البحث العلمي بقدر ما كان تبريرا وتأييدا لنظرية فلسفية او تأويل ديني، تبريرا يعتمد التأمل لا التجربة. ومع ذلك، وفي هذا الاطار نفسه يجب ان ننوه باصالة آراء المفكرين المسلمين

التي يحاول بعض المستشرقين ان يربطوها بكيفية تعسفية بآراء اليونانيين.

## 3 - الذرة كفرضية علمية.

انبعث المذهب الذري من جديد مع الفلسفة الحديثة في اوروبا، ابتداء من القرن السابع عشر، فدخلت «الذرة» بشكل او بآخر في النظريات والانساق الفلسفية التي شيدها فلاسفة العصر الحديث (ديكارت، مالبرانش، جاساندي، ليبنز) ولكنها بقيت عند هؤلاء، كما كانت في القديم، خاضعة لاعتبارات ميتافيزيقية، وحتى العلماء الذين تحدثوا عن الذرة في القرنين السابع عشر والثامن عشر، فان حديثهم عنها لم يكن مبنياً على تجارب علمية، وانما كانوا يصدرون في ذلك عن ضرب من الحدس الهندسي: لقد كانوا ينسبون الى الذرات كيفيات وخصائص حسية تفسر احساسات الانسان المختلفة كالذوق والشم واللون والاحساس بالحرارة والبرودة.

ومع بداية القرن التاسع عشر دخلت الذرة في **الابحاث الكيماوية** كفرضية علمية مكنت من تفسير بعض الظواهر تفسيرا بسيطا ومقبولا. لقد كان الكيمائيون قد تعرفوا آنئذ على بعض الاجسام البسيطة مثل الاكسجين والهيدروجين والنحاس والحديد... واكتشفوا ان ذرات هذه الاجسام البسيطة تتحد فيما بينها حسب نسب دقيقة ثابتة لتشكل مركبات تختلف درجة تعقيدها، مركبات سميت بـ «الجزيئات» Molećules. ومن هذه الجزيئات تتألف مختلف الاجسام.

وهكذا فاذا كان القدماء قد تصوروا الذرات على انها عبارة عن وحدات بسيطة مليئة غير قابلة للانقسام، ثابتة وخالدة.... فان الجزيئي عند علماء القرن التاسع عشر كان عبارة عن جزء صغير جدا من المادة شبيه بكرة صغيرة مملوءة وقابلة للامتداد. والجزئيات عندهم متماثلة لا يؤثر بعضها في بعض الا حين اصطدامها، اما حجمها فصغير جدا، واما كثافتها فثابتة لا تتغير، واما حركتها فعشوائية تتم في الفراغ دون اتجاه مضبوط.

كان العالم الانجليزي **دالتون** Dalton (1766–1844) **اول من طرح مسألة الذرة طرحا علميا** (عام 1808). لقد استوحى آراء الذين سبقوه، وتأدى به التفكير الى الاستنتاج التالي: **اذا سلمنا بان لكل عنصر بسيط، كالهيدروجين مثلا، ذرة نوعية خاصة به، لزم ان يكون لكل ذرة نوعية وزن خاص بها، لان الاجسام (وهي تتركب من الذرات) تختلف في الوزن، ولزم كذلك ان يتم اتحاد الذرات كيماويا حسب علاقات محددة مضبوطة، وبالتالي يصبح من الممكن استخلاص الاوزان الذرية بمقارنة العناصر البسيطة بعضها مع بعض مما يفسح المجال للبرهنة علميا على فرضية الذرة.**

هكذا دخل «الوزن الذري» كمفهوم اساسي في الابحاث الذرية يومئذ. وبما انه لم يكن من الممكن يومئذ وزن الذرات والجزيئات بكيفية مباشرة، فهي من الصغر والدقة بحيث لم يكن من المستطاع الامساك بها بوسائل القياس المتوفرة، فقد التجأ العلماء الى

طريقة المقارنة لتحديد الاوزان الذرية الخاصة بالعناصر البسيطة. وبما ان الهيدروجين هو اخف هذه العناصر، فقد تواضع العلماء على اتخاذه وحدة للقياس فأعطوا كتلته العدد 1، وبمقارنة بقية العناصر المعروفة مع الهيدروجين تمكن العلماء من ان ينسبوا الى ذرة كل عنصر وزنا خاصا. فأعطوا للاكسجين مثلا العدد 16 مرة من الهيدروجين، واعطوا للكربون العدد 12 لانه اثقل من الهيدروجين 12 مرة، والفضة 108... الخ. وهكذا انشئت لائحة للعناصر البسيطة مرتبة على النحو السابق اي حسب اوزانها الذرية، **هذه الاوزان التي هي عبارة فقط عن اعداد مجردة تعبر عن النسب بين ذرة الهيدروجين المتخذة كوحدة للقياس وذرات العناصر التي يراد تحديد اوزانها الذرية**. ومن هنا كان التعبير الاقرب الى الصحة هو «**العدد الذري**» لا الوزن، وهذا ما سيعمل به فيا بعد.

تلك كانت الخطوة الاولى في البحث العلمي في ميدان الذرة. اما الخطوة الثانية والاكثر اهمية فقد قام بها العالم الروسي **مانديليف** Mendeleiv (1834–1907) الذي توصل الى **تصنيف العناصر** الكيماوية تصنيفا ظل يشكل احد الاسس التي قامت عليها النظريات الحديثة حول تركيب المادة. لقد لاحظ مندلييف عام 1869 ان بعض خصائص العناصر البسيطة تظهر **دوريا** كخصائص لكتلتها الذرية. لقد رتب مختلف العناصر المعروفة يومئذ حسب كتلتها (وزنها) الذرية ترتيبا تصاعديا فلاحظ ظاهرة غريبة، وهي انه ابتداء من العنصر التاسع تظهر عناصر تشبه من اوجه كثيرة العناصر الثانية الاولى، الشيء الذي كشف عن سبع دورات تنتظم مختلف العناصر المعروفة (يومذاك).

هكذا اقام مندلييف تصنيفه المشهور على مبدأين أساسيين: الوزن الذري، والتكافؤ الكيماوي(2). فرتب مختلف العناصر المعروفة في وقته حسب اوزانها الذرية ترتيبا تصاعديا ابتداء من الهيدروجين الذي وزنه 1 الى الاورانيوم الذي وزنه الذري 238، مراعيا في نفس الوقت التكافؤ الكيماوي الذي يظهر دوريا بترتيب العناصر بهذا الشكل. وهكذا انشأ قائمة مستطيلة متعامدة الخانات، وضع في الخانات الافقية العناصر مترتبة حسب اوزانها الذرية، ووضع في الخانات العمودية نفس العناصر التي لها نفس التكافؤ، اي المتشابهة كيماويا. وقد اضطر مندلييف الذي راجع تصنيفه مرارا، الى ترك خانات فارغة في لائحته، خانات تحدد خصائص بعض العناصر التي كانت مجهولة يومئذ، وقد كشف البحث العلمي عنها فيا بعد، مما اكد صحة تصنيف مندلييف.

وهكذا وجدت الكيمياء طريقها نحو التقدم بفضل «فرضية» الذرة والجزيئي ولكن

---

(2) التكافؤ هو اشباع ذرة من عنصر ما بذرة او اكثر من ذرات من الهيدروجين. فاذا اتحدت ذرة من عنصر ما مع ذرة واحدة فقط من الهيدروجين يسمى ذلك العنصر وحيد التكافؤ Univalent واذا اتحدت ذرة عنصر ما بذرتين من الهيدروجين سمي ذلك العنصر ثنائي التكافؤ Bivalent مثل الاكسجين الذي تتحد ذرة منه مع ذرتين من الهيدروجين ليتشكل منها مركب جديد هو الماء ($H_2O$) وقس على ذلك الاجسام التي يقال عنها انها ثلاثية او رباعية... التكافؤ).

رغم ذلك بقيت الذرة شيئا مجهولا مما جعل كثيرا من العلماء ذوي الميول الوضعية يعارضون القول بفرضية الذرة الى أواخر القرن الماضي وأوائل هذا القرن معتبرينها « فرضية ميتافيزيقية ». واذا كان بعضهم قد اعترف ببساطة نظرية الذرة وملاءمتها، فإنهم لم يكونوا يقبلون القول بوجود الذرة وجودا واقعيا بدعوى ان التجربة لم تكشف عن هذا الوجود.

## 4 - النظرية الحركية للغازات واثبات وجود الذرة

من المفارقات التي عرفها تاريخ العلم ان البحث في موضوع ما داخل اطار معين كثيرا ما تعترضه صعوبات لا يمكن حلها داخل ذلك الاطار، فالحل يأتي في الغالب من ميدان آخر، الشيء الذي يدل على ترابط ظواهر الطبيعة واجزائها ترابطا عضويا. وهكذا فاثبات وجود الذرة لن يتحقق داخل ميدان البحث في العناصر وتركيبها الذري، بل في فرع آخر من فروع الفيزياء هو الحرارة.

لقد جرت مناقشات عديدة بين علماء القرن الثامن عشر حول طبيعة الحرارة. وكانت نظرية « الموائع » او « السيالات » Les fluides سائدة منذ قرون. فالحرارة تنساب كالماء من جسم الى آخر. لذلك قالوا انها « سيال » يملأ الفراغ الموجود بين ذرات الاجسام الساخنة. وقالوا مثل ذلك بالنسبة للكهرباء، كما سنرى بعد قليل. وهكذا كانت نظرية « الموائع »، وهي القائمة على الاتصال، تفسر طبيعة الحرارة والكهرباء والمغناطيس.

وبخصوص الحرارة ظهرت نظرية جديدة تقول: ان الحرارة مظهر من مظاهر الحركة، فحرارة جسم ما تنشأ عن حركة جزيئاته. وبذلك نشأت نظرية اخرى تفسر الحرارة بالانفصال. لم يكن من السهل الفصل بين النظريتين ما دامت التجارب لم تؤكد هذه الفرضية او تلك. غير ان النظرية القائمة على الاتصال سرعان ما تلقت ضربة قاسية عندما لاحظ رامفورد Rumford عام 1798، وكان مختصا في صناعة المدافع، انه بالامكان احداث الحرارة بكميات لا محدودة. الشيء الذي يعني انها ليست مجرد انتقال « مائع » من جسم لاخر، بل هي شيء يمكن احداثه والزيادة في كميته. وكان ذلك منطلقا لنظرية جديدة علمية هذه المرة، النظرية الحركية للحرارة.

تعززت هذه النظرية باكتشاف كارنو Carnot (1796-1832) وجود تناسب بين الحرارة والشغل. وقد اكد العالم الالماني ماير R. Mayer (1814-1875) هذا التناسب، اذ استطاع ان يضع مبدأ تعادل الحرارة والشغل مما مكن الباحث الانجليزي جول Joule من تحديد القيمة الحسابية لتعادل الحرارة والشغل والقول بفرضية جديدة مؤداها ان الحرارة طاقة لا تختلف عن غيرها من انواع الطاقة، كالطاقة الميكانيكية، بل لقد توصل إلى اكتشاف بالغ الاهمية، اكتشاف قانون تحول الطاقة (الطاقة الميكانيكية مثلا تتحول الى طاقة حرارية، والعكس صحيح). وهنا دخلت كلمة طاقة Energie قاموس العلم ككائن علمي ضروري، وظهرت فكرة حفظ الطاقة، اي بقاء

الطاقة، في منظومة مغلقة، ثابتة دوما مهما تحولت من شكل الى آخر.

وهكذا اصبح **مفهوم الطاقة ملازما لمفهوم المادة**، وكلاهما يخضع لقوانين الحفظ، حفظ الطاقة، وحفظ المادة، بمعنى ان المنظومة المغلقة لا يمكن ان تفقد شيئا من المادة والطاقة. أما الفرق الوحيد بينهما، في التصور السائد يومذاك، فهو ان المادة لها وزن، اما الطاقة فلا وزن لها. بل لقد ذهب بعض العلماء الى القول: لا يوجد الا الطاقة وتبقى كميتها ثابتة، وعلى هذا الاساس قامت **نظرية الطاقة** Energetique التي أشرنا اليها في الفصل السابق.

هذا من جهة، ومن جهة اخرى انبعثت من جديد فكرة كان قد قال بها العالم برنولي D. Bernouli سنة 1738، وكانت ترمي الى تطبيق قوانين الميكانيك على العدد الهائل من **الجزيئات** التي تتكون منها الغازات. انبعثت هذه الفكرة على يد **كلوزيوس Clausieus** (1822-1888) وحاول تطبيقها. وهكذا فاذا تصورنا الغازات على انها عبارة عن عدد هائل من الجزيئات تتحرك في اتجاهات مختلفة ويصدم بعضها بعضا، امكن التفكير في طريقة تساعد على قياس سرعة هذه الجزيئات. وبما أنها كثيرة جدا، ودقيقة جدا، وذات حركات عشوائية، فان الطريقة التي من شأنها ان تساعدنا على قياس حركتها، هي **الطريقة الاحصائية**، اي البحث عن السرعة المتوسطة لهذه الجزيئات بنفس الطريقة التي يحدد بها متوسط اعمار شعب من الشعوب. وبهذا الاعتبار ستكون الحرارة نوعا من الطاقة الميكانيكية الناتجة عن حركة الجزيئات. فحرارة الغاز، مظهر لحركات الجزيئات، وارتفاع درجة الحرارة معناه ازدياد سرعة الجزيئات.

وهكذا فمن خلال البحث في طبيعة الحرارة انطلاقا من فرضية الجزيئات، اخذت هذه الفرضية تنمو وتتأكد وتتخذ ابعادا جديدة، الشيء الذي يرجح بالتالي فرضية الذرة. ومع ذلك، فنحن ما زلنا في منتصف الطريق. فللتأكد من وجود **الجزيئات** وبالتالي، الذرات، لا بد من الحصول عليها علميا، بطريقة او بأخرى. وهنا ستلعب فرضية اخرى دورا اساسيا في تاريخ العلم. انها **فرضية افوكادرو. وقصتها كما يلي:**

كان العالم الفرنسي كي لوساك Gay Lussac (1778-1850) قد توصل الى صياغة قوانين بسيطة تضبط ظاهرة تمدد الغازات، ومنها قانون ينص على وجود علاقة ثابتة وبسيطة بين الاحجام الغازية ومركباتها. بمعنى ان حجما جديدا يمكن ضبط مقداره بواسطة الحجمين الاولين فقط. تأمل افوكادرو Avogadro (1776-1856) - وهو عالم ايطالي- هذه الحقيقة التي كشف عنها كي لوساك وادلى سنة 1819 بفرضية مشهورة حملت اسمه. قال: «ان الفرضية التي تخطر في الذهن لاول وهلة، والتي تبدو انها وحدها المقبولة، هي ان **الاحجام المتساوية من الغازات المختلفة تشتمل دوما - على نفس العدد من الجزيئات**» وهذا يعني ان الخصائص الكيماوية للجزيئات الغازية لا أهمية لها هنا اطلاقا. (لنلاحظ هنا ان الجزيئي ما زال فرضية، ولكنه اصبح اساسا لا غنى عنه لقيام

فرضيات اخرى والوصول الى كشوف علمية جديدة).

لعبت هذه الفرضية التي ادلى بها افوكادرو دورا كبيرا في تقدم المعرفة العلمية واخذت اهميتها تزداد يوما بعد يوم، مما جعل الحاجة الى اثباتها تجريبيا حاجة ملحة. وبعد محاولات متكررة تمكن العالم الفرنسي جان بيران Jean Perrin (1870–1942) في بداية هذا القرن من تحديد عدد الجزيئات التي يشتمل عليها حجم معين من الغاز (هو 22,4 ليتر. وقد اختير هذا الحجم لاعتبارات لا مجال للدخول فيها هنا، فكشف بشكل دقيق عن ان 22,4 ليترمن اي غاز، كيفما كان، اذا اخذ في ضغط 76 سم ودرجة حرارة الصفر، يشتمل على عدد مضبوط من الجزيئات هو العدد: $6 \times 10^{23}$ جزيئي (أي 60 مضافا اليها 23 صفرا من اليمين...!)

هكذا اصبح عدد افوكادرو حقيقة علمية، وصار في الامكان قياس كتلة جزيئي من الغاز قياسا دقيقا. وهكذا ايضا تأكدت فرضية دالتون واصبحت حقيقة علمية رغم تحفظات الوضعيين، كما اصبح في الامكان تقديم تفسير صحيح لحركة براون[3] (نسبة الى العالم النباتي الانجليزي براون Brown (1773–1858) واكثر من ذلك اصبح في الامكان تفسير كثير من خصائص الأجسام كالصلابة والسيولة. فهذا جسم صلب لان جزيئاته متماسكة بقوة، وهذا جسم سائل لان جزيئاته اقل تماسكا، يسري بينها شيء من الفراغ، وذاك جسم غازي (غاز) لان جزيئاته منفصلة بعضها عن بعض تمام الانفصال، فتتحرك في اتجاهات مختلفة، وتزداد حركتها بارتفاع درجة الحرارة. فالحرارة اذن ناتجة عن حركة الجزيئات. والجسم الصلب يسخن لان جزيئاته تتحرك في مكانها (تتذبذب) والجسم السائل يسخن هو الآخر لنفس السبب، ولكن حركة جزيئاته اكثر حرية، اما جزيئات الغاز فهي كما قلنا منفصلة عن بعضها وحركتها غير منتظمة.

اصبحت فرضية الجزيئات حقيقة علمية، وتأكد بالتالي وجود الذرات، لان الذرة مركب الجزيئات. ان هذا يعني ان الجزيئي يقبل القسمة فعلا الى ذرات. فهل تقبل الذرة نفسها القسمة كذلك!.

كان القدماء يقولون ان الذرة لا تنقسم لانها بالتعريب «لا منقسمة» اما علماء القرن التاسع عشر فقد قالوا: قد يكون من الممكن قسمة ذرة من الاوكسجين مثلا، ولكن ما سنحصل عليه بعد القسمة سيكون شيئا آخر غير الاوكسجين!.

---

(3) لاحظ الباحث النباتي الانجليزي براون عام 1827 ان الحبيبات الدقيقة التي يتألف منها احد انواع اللقاح التي كان يدرسها، تبدو، عندما تنثر في صحن من الماء وينظر اليها بالمكروسكوب، دائمة الحركة: تتحرك في اتجاهات مختلفة وبشكل عشوائي على الرغم من هدوء الماء هدوءا تاما، لم يتمكن براون ولا معاصروه من تفسير هذه الحركة اذ كان لا بد من انتظار مرور ثمانين عاما حتى تكتمل النظرية الحركية للغازات على يد جان بيران كما رأينا. لقد مكنت هذه النظرية من اعطاء تفسير بسيط ومعقول لحركة براون هذه. ذلك ان حركة حبيبات اللقاح انما ترجع الى حركة جسيات الماء. هذه تقذف تلك في اتجاهات مختلفة (الماء يتألف مثله مثل الغاز من جزيئات تتحرك..)

من هنا بدأ البحث في بنية الذرة. وسيكون طريق العلماء اليها لا الغازات ولا الحرارة، بل الكهرباء والتحليل الكهربائي.

## 5 - الطريق الى بنية الذرة.

لعل أول ظاهرة كهربائية ومغناطيسية لاحظها الناس قديما هي خاصية الجذب التي تنفرد بها بعض الاجسام كالعنبر والحجر المغناطيسي: العنبر يجذب التبن وغيره من الاجسام الخفيفة المماثلة عندما يحك بقطعة من الصوف، والحجر المغناطيسي يجذب الاجزاء الصغيرة من فتات الحديد (برادة الحديد). ويقول مؤرخو العلوم ان الفيلسوف اليوناني طاليس (القرن السادس قبل الميلاد) هو اول من حاول اعطاء تفسير لهذه الظاهرة الغريبة، اذ قال: ان للعنبر والحجر المغناطيسي روحا قادرة على جذب الاجسام المجاورة (النزعة الاحيائية).

كان هذا كل ما عرفه القدماء ورجال القرون الوسطى عن الكهرباء والمغناطيس، وهذا كل ما ورثه العلم الحديث عن العلم القديم في هذا الشأن، بالاضافة الى التسمية. (العنبر باللغة اليونانية يسمى «الكترون» ومنه اشتق اسم الكهرباء باللغات الاجنبية Electricité. اما الحجر المغناطيسي فيسمونه «مانييس» ومن هنا كلمة Magnetisme = مغناطيس). ولما جاء القرن السادس عشر، القرن الذي نشطت فيه الابحاث العلمية التجريبية بالمفهوم الحديث، كان الطبيب الانجليزي جيلبر Gilbert (1540–1603) أول من اهتم بدراسة خاصية الجذب - التي يتصف بها العنبر - في مواد اخرى كالزجاج والكبريت والمادة الصمغية الصنوبرية وغيرها من الاجسام المماثلة التي اطلق عليها يومئذ اسم Idio-électrique) ما نعبر عنه اليوم بـ«الاجسام العازلة»)، وذلك في مقابل الاجسام الاخرى التي ليست لها خاصية الجذب تلك، والتي اطلق عليها اسم Anélectrique (ما نعبر عنه اليوم بـ«الاجسام الموصلة»).

بقي الامر عند هذا الحد، الى ان حل القرن السابع عشر، قرن نيوتن والجاذبية والتفسير الميكانيكي للظواهر الطبيعية، فأخذ العلماء يحاولون تفسير خاصية الجذب التي يتميز بها كل من العنبر والحجر المغناطيسي انطلاقا من قانون الجاذبية، وسرعان ما لاحظوا نوعين من «الكهرباء»: الكهرباء «الزجاجية» التي تحدث بدلك الزجاج، والكهرباء «الصمغية» التي تحدث بدلك العنبر، كما لاحظوا كذلك ان الجسمين اللذين لهما نفس النوع من الكهرباء يفترقان اذ ينبذ احدهما الآخر، في حين ينجذب الجسمان اللذان لهما كهرباء من نوع مضاد.

ومن هاتين الملاحظتين انطلقت الابحاث في الكهرباء والمغناطيس معا، وكان العالم الفرنسي كولومب أول من توصل عام 1785 الى تحويل الظاهرة الكهربائية الى مقدار كمي فيزيائي سماه الشحنة، مما مكنه من ضبط الشحنات الكهربائية بواسطة قانون مستوحى

من قانون الجاذبية الذي صاغه نيوتن. اما عن طبيعة الكهرباء فقد ادلى بشأنها الفيزيائي الاميركي فرانكلان Franklin (1706-1792) بفرضية، على غرار الفرضيات التي كانت سائدة يومئذ، فقال ان الكهرباء عبارة عن مانع (او سيال) fluide يسري بين الاجسام بشكل متصل. وعندما اكتشف العلماء ان الحرارة ليست مانعا كما كان يعتقد، بل هي نتيجة حركات الجزيئات، اي انها من طبيعة منفصلة لا متصلة، اصبح من الطبيعي ان يتساءلوا: الا تكون الكهرباء ايضا قائمة على الانفصال؟ اليست هي الاخرى عبارة عن حبات منفصلة كالمادة والحرارة؟.

انطلقت الابحاث في الكهرباء من هذا التصور الجديد، وتوصل **هيلموتز** Helmotz عام 1881، بواسطة تجارب التحليل الكهربائي الى ملاحظة طريفة، وهي ان **الايونات** (او الشوارد) ions، وهي اصغر جزء من المادة يمكن اطلاقه، تندفع منفصلة ومتقطعة. ولم تمض الا بضع سنوات حتى اكدت نظرية الشوارد هذه ان الكهرباء **هي فعلا عبارة عن حبات منفصلة تندفع متقطعة متتالية**. وكان العالم الايرلاندي ستوني Stonny هو أول من اقترح تسمية هذه الحبات الكهربائية بـ« **الالكترون** » Electron (او الكهرب) وذلك عام 1881.

ان **الالكترون**، في هذا المستوى من البحث، **هو اصغر كمية من الكهرباء يمكن الحصول عليها**، وكان ينظر اليه على انه متميز عن المادة، وانه يتخذ هذه مطية له. ولكن هذا التصور سرعان ما تعدل اذ أصبح العلماء ينظرون الى الالكترون بوصفه جسما ماديا هو نفسه، جسما لا يلعب فقط دور « الذرة الكهربائية » بل ايضا دور المكون الاساسي للمادة: فالمادة تنحل في الاخير الى كهارب (الكترونات)....

تضافرت تجارب كثيرة اكدت هذه الحقيقة. وكانت التجربة الحاسمة في هذا المجال هي تلك التي قام بها العالم الامريكي **مليكان** Millikan عام 1909 والتي أكدت بكيفية لا تقبل الشك الطبيعة الجسيمة (المنفصلة) للكهرباء. لقد حدد مليكان بدقة **شحنة الالكترون وكتلته**. وكشفت تجارب اخرى عن وجود الكترونات في الاجسام حتى ولو كانت اجساما محايدة لا تصدر اية كهرباء مما دفع بالعلماء الى القول بأن الالكترون يدخل في تركيب المادة، وانه جزء اساسي فيها. وهكذا **تغيرت نظرتهم الى الذرة فلم تعد غير قابلة للانقسام، بل اصبح ينظر اليها كبنية، كشيء يتألف من عناصر تقوم بينها علاقات معينة**. ولقد تبين فيما بعد ان عدد الالكترونات التي تشتمل عليها الذرات ليس واحدا دوما، بل يختلف باختلاف نوعية الذرات. فذرة الهيدروجين تشتمل على الكترون واحد، وذرة الاورانيوم تشتمل على 92 الكترونا. وهكذا اصبحت العناصر البسيطة تصنف الان حسب **الاعداد الذرية**(عدد الالكترونات التي تدخل في تكوين الذرة) لا حسب الاوزان الذرية الافتراضية كما كان الشأن من قبل.

من هذا انطلقت الابحاث في الذرة بمنظور جديد. لقد تساءل العلماء: بما ان الذرة

جسم حيادي لا يرسل اية شحنة كهربائية، وبما انها تشتمل، مع ذلك، على الكترونات، اي على كهرباء سالبة، فانه لا بد ان يكون هناك «**شيء**» داخل الذرة، يشتمل على كهرباء موجبة معادلة للكهرباء السالبة التي تحملها الكتروناتها. وكانت الفرضية التي ادلى بها العلماء في هذا الصدد هي ان الذرة تشتمل على **نواة** ذات كهرباء موجبة تعطل مفعول الكهرباء السالبة التي لالكتروناتها.

توالت الفرضيات حول بنية الذرة. وكان انجحها - نسبيا - تلك التي ادلى بها **روترف فورد** Rutherfrd والتي يقول فيها ان **الذرة أشبه ما تكون بالنظام الفلكي**: فكما تدور الكواكب حول الشمس، تدور الالكترونات في الذرة حول النواة. وقد تأدى الى هذا الافتراض عندما تبين له أن أشعة «س» يمكن ان تخترق المادة، الشيء الذي لا يمكن **حدوثه** لو لم يكن هناك فراغ بين اجزاء المادة نفسها اي بين الذرات.

أدخلت فيما بعد تعديلات على هذا التصور الفلكي للذرة. فالالكترونات، حسب نظرية لورانتز تصدر كمية من الطاقة باستمرار، مما سيؤدي الى عدم استقرار صرح الذرة. ذلك لان الالكترون الذي يفقد جزءاً من طاقته سيضطرب سيره، فلا يبقى على مداره الاصلي حول النواة، بل سيسقط على النواة نفسها. كان لا بد من انقاذ ذرة روترفورد. وذلك ما قام به الدانماركي **نييل بور** Niels Bohr

قال بور بنظرية متكاملة، متماسكة الى درجة كبيرة، نظرية اصبحت تشكل التصور الرسمي لبنية الذرة. **لقد افترض بور ان لكل الكترون عددا من المدارات الممكنة، يجري فيها دون ان يصدر طاقة ما. ولكنه عندما ينتقل من مدار الى آخر (أي من محطة قارة الى محطة اخرى قارة)**، لهذا السبب او ذاك، فانه في هذه الحالة، فقط، **يصدر الطاقة او يمتصها بقدر معلوم** (= بالكوانتوم، طبقا لنظرية الكوانتا التي سنشرحها في الفصل الثالث). وفي عام 1916 ادخل سومر فيلد Sommerfeld تعديلا جديدا على ذرة **روترفورد**، اذ اعتبر **مسارات الالكترونات مسارات بيضوية الشكل**، لا دائرية كما كان يفترض من قبل. ثم استعمل نظرية النسبية في دراسة حركة الالكترونات حول الذرة.

**لعل القارىء يلاحظ اننا نتحدث عن «ذرة روترفورد» أو «ذرة بور» أو «ذرة سومورفيلد»، لا عن الذرة كما هي في «حقيقتها»**. والواقع ان الامر يتعلق **بتصور معين** للذرة، اي **ببناء نظري افتراضي**، يشكل **حقيقة علمية مؤقتة**، لا حقيقة انطولوجية ثابتة، وتلك مسألة ابيستيمولوجية اثارت وتثير مناقشات حادة، خاصة من طرف ذوي النزعة الوضعية بمختلف فروعها، اولئك الذين يقولون، اننا لا نعرف الا ظواهر الاشياء وآثارها، لا الاشياء في ذاتها. ومعرفتنا هذه نتيجة الملاحظة وادوات القياس، واذن فلا بد ان تتأثر بهذه الادوات وتأثيرها، وبالتالي ففي المعرفة عنصر ذاتي اساسي. وسنعود فيما بعد الى هذه المشكلة.

ومهما يكن، فان الذرة نواة والكترونات. والنواة تتألف من **بروتونات Protons**

ونوترونات Neutrons تسمى جميعا بـ« النويات » (تصغير نواة) Nucleóns. وعدد هذه النويات وتوزعها الى بروتونات ونوترونات وعلاقة هذه بتلك، كل ذلك يختلف باختلاف الذرات، اي باختلاف العناصر. اضف الى ذلك ان البروتونات ذات كهرباء موجبة، وهي التي تبطل مفعول الكهرباء السالبة التي تحملها الالكترونات، ولما كانت الذرة حيادية (أي لا كهرباء فيها) وجب ان يكون عدد الالكترونات فيها مساويا لعدد البروتونات. وهكذا فالهيدروجين مثلا تشتمل ذرته على الكترون واحد، وبروتون واحد. اما النوترونات فهي محايدة لا كهرباء فيها.

وعلاوة على الالكترونات والنوترونات والبروتونات، وكلها تدخل في تركيب الذرة، كما توجد خارجها، اكتشف العلماء عددا آخر من الجسيمات الدقيقة جدا لا تدخل في تركيب الذرة مثل الميزون Méson والهيبرون وهما يعيشان فترة زمنية اقصر من لمح البصر. كما اكتشفوا اشكالا اخرى من الجسيمات الاولية الدقيقة اطلقوا عليها اسم: مضادات الجسيمات Les antiparticules. ففي سنة 1932 اكتشف بوزيتون لا الكتروني Positon اي مضاد للالكترون. بمعنى ان له نفس الكتلة والشحنة التي للالكترون ولكنه يحمل كهرباء موجبة. وفي عام 1955-1956 اكتشف مضاد البروتون Antiproton وهو جسيم له نفس الشحنة والكتلة التي للبروتون ولكن كهرباءه سالبة.. الى غير ذلك من الجسيمات الاولية الدقيقة التي يعجز الخيال عن تصور صغرها وقصر حياتها.

لقد تأكدت اذن الطبيعة الجسيمية للكهرباء، بعدما تأكدت بالنسبة للحرارة. واصبحت الذرة حقيقة علمية، لا كجزء لا يتجزأ، بل كبنية تتألف من جسيمات اولية. وبذلك أصبح التصور القائم على الانفصال هو السائد... ولكن هل يعني هذا ان الاتصال قد اصبح في خبر كان..؟.

ان هناك جانبا آخر من القصة، قصة الصراع بين المتصل والمنفصل، الجانب الذي عرف هذا الصراع واضحا حادا، والذي انتهى - مؤقتا على الاقل - الى حل تركيبي بين المتصل والمنفصل، في جميع المجالات. انها قصة الصراع بين النظرية الموجية والنظرية الجزيئية في ميدان الضوء.

## 6- طبيعة الضوء: الاتصال ام الانفصال؟

تبدأ القصة - علميا - مع ديكارت(4) الذي اهتم بالبحث في البصريات اهتماما زائدا فتوصل الى ضبط قانون انكسار الضوء. La refraction (= العلاقة بين جيب زاوية السقوط وجيب زاوية الانكسار ثابتة: $\frac{جاس}{جاك}$ = ن)، كما ادلى بنظرية تفسر هذه الظاهرة، ومؤداها ان الضوء مكون من اجزاء صغيرة جدا سرعتها في الوسط الكثيف (الماء مثلا)

---

(4) يتعلق الامر هنا خاصة بتفسير طبيعة الضوء: امتصل هو ام منفصل. اما البحث في خواص الضوء وقوانينه، فلقد كان للعرب في القرون الوسطى دراسات متقدمة كدراسات ابن الهيثم مثلا.

اكبر من سرعتها في الوسط الاقل كثافة (الهواء مثلا). وهذا الاختلاف في السرعة هو سبب انحراف الاشعة (= انكسار الضوء). وعلى الرغم من ان باحثين آخرين كانوا يرون ان الاحتمال المعقول هو القول بأن سرعة الضوء في الوسط الخفيف اكبر من سرعته في الوسط الكثيف، فان ديكارت تمسك برأيه مشبها انكسار الضوء عندما يصادف في طريقه عائقا ما بالكرة التي تصطدم بجسم من الاجسام: ذلك لانه كلما كان العائق صلبا كثيفا كان رد الفعل أقوى (بالتالي ازدادت سرعة الضوء). وقد اثبت العلم فيما بعد خطأ هذه الفكرة.

وعلى الرغم من ان ديكارت لم يقل بنظرية الاصدار (النظرية الجزيئية التي تعتبر الضوء عبارة عن حبات منفصلة) كما ستصاغ فيما بعد، اذ كان يعتبر الشعاع الضوئي بمثابة عمود ضاغط ينقل الضوء من الجسم المشع الى العين (الشيء الذي يستجيب لنظريته العامة التي توحد بين المادة والامتداد، ومن ثمة تنفي الفراغ وتقول بالاتصال)، على الرغم من هذا فان قسما كبيرا من آرائه ظل اساسا لنظرية الاصدار في عصره. وقد تبناها نيوتن وصاغها صياغة جديدة كما سنرى فيما بعد.

ومن ابرز الباحثين الذين حاولوا تفسير طبيعة الضوء بعد ديكارت، العالم الهولاندي **هويغنز**. لقد اتهم ديكارت بأنه يبني نظرياته على مجرد التأمل العقلي لا على وقائع علمية، ملاحظا انه اذا كان الضوء هو في حقيقته حركة مادة ما، فان من الصعب القول انه يشبه في حركته حركة الكرة او السهم. ذلك لان الاشعة الضوئية التي تنبعث من جهات مختلفة، متعارضة، وتسير بسرعة عظيمة، لا يعوق بعضها سير بعض، على الرغم من تقاطعها واصطدامها. ولذلك فان انتشار الصوت في الهواء على شكل امواج يوحي لنا بالفرضية المناسبة في هذا الميدان. واذن، **فالضوء عبارة عن أمواج**، (= متصل).

هذه باختصار فكرة هويغنز. ولكي نتمكن من تتبع المناقشات التي دارت حولها لا بد من التذكير ببعض الوقائع المعروفة: لنلق بحجر صغير على صفحة ماء هادىء. اننا سنلاحظ، ولا شك، حدوث امواج تندفع متتابعة انطلاقا من النقطة التي سقط فيها الحجر (مركز التموج). ان ههنا حركة. فما الذي يتحرك. ان قطرات الماء تبقى في مكانها وتكتفي بذبذبة عمودية، ويمكننا ان نشاهد ذلك ايضا اذا وضعنا قطعة من الفلين (الفرشى) على الماء. ففي هذه الحالة نلاحظ انطلاق الامواج في اتجاه معين، في حين تظل قطعة الفلين في مكانها تتحرك صعودا وهبوطا. واذن، فالحركة الظاهرة، البادية للعيان، هي حركة الموجات، لا حركة الماء. **والمسافة بين قمة موجة وقمة موجة موالية لها هي ما يعبر عنه بطول الموجة. اما عدد ذبذبات الموجة** (اي قطعة الفلين في المثال السابق) **فيسمى التواتر (او التردد)**

وواضح ان هذه الذبذبات راجعة الى حركة الموجات: فعندما تكون قطعة الفلين على قمة الموجة ترتفع، وعندما تكون على قعرها تنزل. واذا فسرنا الضوء على هذا الاساس

امكننا القول ان سرعته هي سرعة التذبذب، اي التواتر. والقانون الذي يحدد العلاقة بين طول الموجة وتواترها هو التالي «طول موجة الضوء متناسب عكسيا مع تواترها». وهذا يعني اذا زاد طول الموجة قل تواترها (= انخفضت سرعتها) والعكس بالعكس(5).

وعلى الرغم من ان نظرية هويغنز تقدم تفسيرا معقولا لكثير من الظواهر الضوئية، فانها لقيت معارضة شديدة من طرف نيوتن، لانها لا تتفق مع نظريته الميكانيكية العامة التي ترجع جميع انواع الحركة الى الفعل ورد الفعل. لقد تبنى هذا الاخير الاصدار، (أو النظرية الجسيمية) التي تعتبر الضوء عبارة عن حبات تنتقل في الفراغ، ومن ثمة تقبل التفسير الميكانيكي. وكانت الحجة الاساسية التي برز بها نيوتن معارضته لنظرية هويغنز هي ان هذه النظرية تقتضي افتراض وسط تنتقل عبره الموجات الضوئية، لان التموج لا يحصل في الفراغ (والفراغ أو المكان المطلق مفهوم اساسي في ميكانيكا نيوتن). والوسط المقترح هنا هو «الأثير» وهو مفهوم غامض متناقض. فمن جهة يجب ان يكون «الاثير» لطيفا رقيقا الى درجة انه يستطيع الانسياب عبر الاجسام الشفافة (التي يمر عبرها الضوء) ولكنه ايضا يجب ان يكون صلبا الى درجة كبيرة حتى يستطيع اختراق أصلب الاجسام الشفافة (مثل الزجاج). من أجل ذلك رفض نيوتن النظرية الموجبة على الرغم من بساطة التفسير الذي تقدمه لظواهر الضوء المعروفة في ذلك العهد، ولظواهر اخرى اكتشفها نيوتن بنفسه، واستعصى عليه تفسيرها بنظريته الجسيمية، مما جعله يعمد الى «ترقيع» نظريته، الشيء الذي افقدها بساطتها وجعلها تتعقد وتنحرف نحو النظرية الموجية.

من الظواهر الضوئية المعروفة يومئذ، والتي كانت تفسر تفسيرا معقولا ومقبولا بالنظريتين معا، الجسيمية والموجية، ظاهرة الانتشار المستقيم للضوء: النظرية الجسيمية تفسر هذه الظاهرة بكون المصدر الضوئي ينشر حوله جزئيات (او حبات) ضوئية تنطلق على شكل خطوط مستقيمة هي الاشعة الضوئية التي تشكل مسارات لتلك الجزئيات. وبسرعة هذه الجزئيات في الفراغ، هي ما يعبر عنه بسرعة الضوء. اما النظرية الموجية فهي تفسر هذه الظواهر بكون المصدر الضوئي ينشر حوله موجات تنتشر عبر الاثير، وسرعة تواتر هذه الموجات هي سرعة الضوء.

---

(5) من المناسب ان نذكر هنا أطوال الموجات كما هي معروفة اليوم:

- هناك اولا الامواج الاذاعية وهي ثلاثة انواع: طويلة (يتجاوز طول كل موجة منها الف متر) ومتوسطة (طول موجاتها بمئات الامتار (بين مائة والف) وقصيرة (طولها بعشرات الامتار) وتستعمل الامواج القصيرة في الرادار كذلك.
- وهناك امواج الضوء المرئي وهي قصيرة جدا في حدود جزء عشرة آلاف جزء من السنتمتر (= الميكرون) وأطول الموجات الضوئية هي موجة اللون الاحمر، واقصرها موجة اللون البنفسجي.
- وهناك موجات الاشعة تحت الحمراء وهي اطول من موجات اللون الاحمر المرئي، وهي لا ترى بالعين. كما ان موجات الاشعة فوق البنفسجية اقصر من موجات اللون البنفسجي المرئي وهي لا ترى بالعين كذلك.

ومن الظواهر المرتبطة بانتشار الضوء **ظاهرة الظل**. يرى القائلون بالنظرية الجسيمية انه عندما نضع حاجزا، كالورقة مثلا، امام حزمة من الاشعة الضوئية، فان ظل هذا الحاجز يرتسم على الجدار المقابل. وهذا في نظرهم دليل على ان الضوء ينتشر على شكل خطوط مستقيمة. فالظل معناه ان قسما من الاشعة قد منعه الحاجز من مواصلة طريقه نحو الجدار، مما يسبب في ظهور الظلام عليه. ويقولون ايضا انه لو كان الضوء ينتشر بالتموج لما كان هناك ظلام يحاكي شكل الورقة تماما. اذ من المعروف ان الامواج تنعرج عندما يعترضها عائق، الشيء الذي لا بد ان يؤدي الى حدوث تشويه واعوجاج في ظل الورقة المرتسم على الجدار، او على عدم ظهور ارتطامها بمركب صغير، بل تنعرج ذات اليمين وذات الشمال لتحوم حول المركب لتتلاقى امامه كما كانت وراءه.

ورغم قوة هذه الحجة التي تستند على الملاحظة الحسية - وهذا في الواقع ضعف، لان الملاحظة الحسية كثيرا ما تكون مضللة في العلم - فان انصار نظرية التموج يدفعون هذا الاعتراض بفكرة سيؤيدها العلم فيما بعد، وستكون من بين العوامل الاساسية التي ستبعث نظريتهم من جديد وتمكنها من السيطرة. لقد قالوا ان الورقة ترسل، بالفعل، ظلا على الجدار مماثلا لشكلها، وذلك لان حجم الورقة كبير جدا بالقياس الى طول الموجات الضوئية، فهي تمنع الامواج الضوئية من الانتشار والانعراج مثلما تمنع سفينة كبيرة امواج نهر صغير من الانتشار والانعراج حولها. ولو أمكن مراقبة جسم صغير جدا في مستوى صغر الموجة الضوئية لتبين ان هذا الجسم لا يترك وراءه ظلا منتظما على الشاشة، لان الموجات الضوئية ستكون حينئذ قادرة على ان تحوم حوله، مما سيجعل الظل يظهر متقطعا (ظاهرة الانعراج وسنتحدث عنها بعد قليل). كان هذا مجرد خيال. ولكنه خيال مبدع، وسيتمكن العلم من اجراء تجارب من هذا النوع، ولكن فيما بعد.

ومن الظواهر الضوئية المعروفة كذلك ظاهرة **الالوان**. وتفسرها النظرية الجسيمية بالقول ان اختلاف الالوان راجع الى اختلاف الحبات الضوئية، فهي تفترض ان لكل لون حبات ضوئية معينة ذات شكل خاص. وهذه نقطة ضعف. اما النظرية الموجية فتفسر الالوان بشكل ابسط واكثر معقولية. تقول: ان اختلاف الالوان راجع الى اختلاف الموجات الضوئية. فللضوء الاحمر موجات طولها يختلف عن طول موجات اللون البنفسجي مثلا. وهنا لا بد من الاشارة الى «اللون» الابيض وكيف يتكون: كان نيوتن ذات يوم يقلب في يده على مقربة من باب غرفته بلورة (عدسة زجاجية) فانعكست عليها اشعة الشمس، وظهرت فيها الوان قوس قزح (**الاحمر البرتقالي والاصفر والاخضر والازرق والنيلي والبنفسجي**). لفتت هذه الظاهرة انتباهه واخذ يبحث لها عن تفسير، فاهتدى الى القول: ان **اللون الابيض مركب من هذه الالوان السبعة المذكورة**. وانحلال الضوء الابيض الى هذه الالوان السبعة - وهذا ما يعرف بالطيف Spectre - راجع الى ان الحبات الضوئية التي يتألف منها هي عبارة عن مجموعات تختلف شكلا وسرعة، مما حمله

على القول بأن لكل لون من الوان الطيف نوعا خاصا من الحبات. اما انصار النظرية الموجية فهم يقولون ان اللون الابيض هو ذلك المركب الناتج عن اندماج اطوال الموجات الضوئية للالوان السبعة المذكورة.

من هذه الامثلة يبدو واضحا ان النظريتين تستطيعان، كلا على حدة، تفسير الظواهر الضوئية المعروفة الى عصر نيوتن. ولكن هذا الاخير رفض بقوة نظرية التموج، لانها - كما قلنا - لا تنسجم مع نظريته الميكانيكية العامة. وايضا لانها لا تقول بوجود فراغ مطلق كما يقول هو، بل تفترض ذلك الوسط الغريب المسمى بـ «الاثير». وهكذا كتبت السيادة لفترة من الزمن طويلة للنظرية الجسيمية (نظرية الاصدار) واصبحت لمدة قرن او يزيد النظرية المعمول بها علميا، وبالتالي اساسا لكثير من الآراء والنظريات العلمية.

لكن العلم لا يعرف التوقف ولا يخضع لسلطة الاشخاص والنظريات مهما كانت. **لقد انبعثت نظرية هويغنز من جديد عندما ظهرت ظواهر ضوئية عجزت نظرية الاصدار النيوتينية عن تفسيرها**. واهم هذه الظواهر الجديدة التي ستعزز النظرية الموجية وتكتب لها السيطرة ثلاث: **التداخل، الانعراج، الاستقطاب.**

كان الطبيب الانجليزي يونغ Yong (1773-1829) اول من قام بتجارب اثبتت **ظاهرة التداخل** Interference. والمقصود بها ما يحدث من تعاقب بين النور والظلمة على الشاشة عندما تركز عليها حزمتان ضوئيتان في شروط معينة. وفي نفس الوقت تقريبا كان ضابط فرنسي واسمه مالوس Malus (1775-1812) قد اكتشف ظاهرة الانكسار المضاعف La double refraction او الاستقطاب Polarisation. لقد كان ينظر ذات يوم الى اشعة الشمس وهي تنعكس مرتين: مرة على زجاج النوافذ المقابلة لها، ومرة على قطعة بلورية كان يحركها بيده في اتجاه صورة قرص الشمس على النوافذ، ان انعكاس اشعة الشمس على النوافذ اولا ثم على البلورة ثانيا كان يقتضي ان يقدم للناظر صورتين عن قرص الشمس. ولكن لشد ما كانت دهشة مالوس عظيمة عندما لاحظ ان انعكاس اشعة الشمس على زجاج النوافذ وعلى البلورة التي في يده لا يقدم له سوى صورة واحدة لقرص الشمس. اما الصورة الثانية فلم تكن تظهر الا عندما يحرك البلورة حركة دائرية، وفي هذه الحالة تختفي الصورة الاولى، الشيء الذي يدل على ان **انعكاس الضوء يغير من خصائصه** في ظروف معينة. وتلك هي ظاهرة الاستقطاب التي اكتشفها مالوس صدفة، مثلما اكتشف نيوتن من قبل وبالصدفة كذلك، ظاهرة الطيف. **ان الصدفة في العلم تلعب دورا كبيرا.**

اما ظاهرة **الانعراج** (او الانحراف او الحيود) La diffraction فهي نفس الظاهرة التي تخيلها اصحاب نظرية التموج في ردهم على انصار النظرية الجسيمية بخصوص الظل. فلقد ثبت فعلا ان الجسم الصغير الذي يبلغ في صغره مستوى صغر الموجة الضوئية لا يرسل ظلا منتظما، مما يثبت انعرج الاشعة كما تنعرج الامواج المائية.

بقيت هذه الظواهر الثلاث مستعصية على النظرية الجسيمية، على الرغم من **المجهودات** التي بذلها نيوتن لتفسير ظاهرة مماثلة اكتشفها بنفسه، ظاهرة «**الحزمات الضوئية الملونة**» Les anneaux colorés. فلقد لاحظ نيوتن انه عندما يسلط الضوء الابيض على صفحة رقيقة مثل صفحة الزيت على الماء، او كمية قليلة من الهواء المحصور بين صفحتين من الزجاج، يتحول - هذا الضوء الابيض - الى حلقات، او حزمات، ملونة. وتلك ظاهرة اساسية من ظواهر التداخل حاول نيوتن تفسيرها في اطار نظريته الجسمية، ولكن تفسيره جاء معقدا الى ابعد حد يحمل سماتاً من التصور الجزيئي والتصور الموجي معا.

كان لا بد، اذن، من البحث عن طريقة تمكن من تفسير هذه الظواهر الضوئية الجديدة الاساسية. ولم يكن ذلك ممكنا الا بالرجوع الى **النظرية الموجية**. وهذا ما فعله العالم الفرنسي **فرينل** Fresnel (1788-1827). كان فرينل مهندسا في القناطر والطرق، ففصل من عمله وذهب الى البادية واخذ يدرس بعض مشاكل علم الضوء دون ان يكون لديه هناك ما يكفيه من الادوات والتجهيز العلمي. ومع ذلك توصل باستعمال مرآتين (مرآتي فرينل) الى الحصول على ما يسمى **بهدب التداخل** Les franges d'Interférences، وهي المناطق المتعاقبة من الضياء والظلمة التي تنشأ من تداخل الضوء المنسجم (أحد الوان الطيف السبعة). ثم فسر هذه الظاهرة، في اطار النظرية الموجية، كما يلي:

من المعروف ان الموجة تتألف من قمة وقعر. فاذا **توافقت موجتان** (قمة مع قمة وقعر مع قعر) حدث **ضياء**، واذا **تعاكست** (قمة مع **قعر** وقعر مع قمة) **حدثت الظلمة**. ذلك لان توافق الموجتين يزيد من قوتها اما تعاكسها فيجعل الواحدة منها تلغي الاخرى، تماما كما يحدث لقطعة من الفلين على الماء المتموج، تارة نشاهدها ترتفع بذبذبة قوية لان الامواج متوافقة يقوى بعضها بعضا، وتارة نشاهدها ساكنة في محلها رغم تموج الماء، وذلك حينما تكون الامواج متعاكسة (يلغي بعضها قوة بعض).

وعندما عاد فرينل الى باريس اخذ يدرس ظاهرة **الانعراج** Difraction اي خروج الضوء عن امتداده المستقيم كما يحدث عند مروره بثقب صغير جدا، فاثبت انه اذا وضعنا عائقا صغيرا، امام مصدر ضوئي، وثقبناه ثقبا ضيقا جدا، فان الضوء المرتسم على الشاشة والمار من الثقب يأخذ في التضاؤل حتى يصير ظلمة. ونستطيع ان نفهم هذه الظاهرة بوضوح اكثر اذا استعملنا ثقبين صغيرين متجاورين جدا، وامررنا منهما ضوءا منسجما ففي هذه الحالة نشاهد على الشاشة حزمة مظلمة واخرى ملونة تضعف تدريجيا لتمتزج مع الظلمة. وتفسير هذه الظاهرة هو ان الموجتين الضوئيتين تلغي احداهما الاخرى عندما تلتقي قمة هذه مع قعر تلك، فتحدث الظلمة وتزيد الواحدة منهما الاخرى قوة عندما تلتقي قمة هذه بقمة تلك فيحدث الضياء.

هكذا تغلب فرينل على ظاهرتي التداخل والانعراج بالرجوع الى النظرية الموجية. وقد تعززت هذه النظرية اكثر عندما استطاع فرينل نفسه ان يفسر بها ظاهرة

**الاستقطاب**. لقد افترض ان تواتر الاشعاع الضوئي يتم، لا في امتداد الضوء وانتشاره، بل في اتجاه عمودي على الاول. وهذا يعني ان الموجات **الضوئية موجات عرضانية** Transversales وليست طولانية Longitudinales (الموجة الطولانية هي تلك التي تتبع انتشار الماء، اي اتجاهه حين التموج. اما الحركة التي تتم عموديا على هذا الاتجاه الطولاني والتي تتسبب في ارتفاع قطعة الفلين، في المثال السابق، فهي تعكس واقعا جديدا هو الموجة العرضانية التي يمكن ملاحظتها بسهولة في تموج الجليد. هذا والموجات الصوتية **موجات طولانية، اما الضوئية فهي عرضانية**).

ثلاث: ظواهر ضوئية اساسية تمكنت النظرية الموجية - مع فرينل - من تفسيرها، وعجزت النظرية الجسيمية عن تقديم اي تفسير لها، مما يؤكد ان الضوء هو فعلا عبارة عن امواج. فكان لا بد من ان تتوارى النظرية الجسيمية التي فرضها نيوتن وتحل محلها النظرية الموجية. ولكن مع ذلك بقيت هناك مشكلة «الاثير» الذي لا بد من افتراضه للقول بتموج الضوء. ان التموج يتطلب وسطا يحصل فيه. فهل سنقبل الأثير، وهو فرضية مزعجة؟.

هذه مشكلة اخرى ستجد حلها - او ما يشبه الحل - في غير ميدان الضوء. نقصد بذلك ميدان البحث في المغناطيس وعلاقته بالكهرباء وهنا لا بد من الرجوع قليلا الى الوراء.. وبالضبط الى نظرية «الموائع».

تحدثنا قبل عن تطور البحث في طبيعة الكهرباء ورأينا كيف ان العالم الفرنسي كولومب استطاع عام 1785 ان يحول الظاهرة الكهربائية الى مقدار كمي سماه الشحنة. وقلنا ان العالم الامريكي فرانكلان ادلى يومئذ بفرضية تفسر الكهرباء على اساس انها عبارة عن مائع (او سيال) ينتقل من جسم الى آخر بشكل متصل. وقد اخذ كولومب هذه الفرضية وفسر بها ظاهرة **الجذب المغناطيسي** فقال: يتألف المغناطيس من مائعين احدهما شمالي والآخر جنوبي يتركزان على طرفي القضيب المغناطيسي، ثم توصل الى قانون يضبط فعل الجذب والنبذ لقطبي المغناطيس. وتوالت الابحاث بعد ذلك في الكهرباء والمغناطيس واكتشفت عدة قوانين تضبط خصائصها وفعلها، كلا على حدة، مما جعل منها فرعين مستقلين متباينين من فروع الفيزياء الى ان اشرف العقد الثاني من القرن التاسع عشر على نهايته.

ففي سنة 1819 لاحظ العالم الدنماركي اورستيد Oersted (1777-1851) صدفة، عندما كان يلقي درسا في التيار الكهربائي على طلبته ان الابرة المغناطيسية، التي كانت بجوار الاسلاك الكهربائية التي كان يجري عليها تجاربه، تأخذ في الحركة والانحراف كلما مر التيار الكهربائي قريبا منها، فاستنتج من ذلك ان التيار الكهربائي ينشر حوله مجالا مغناطيسيا، مثلما يفعل المغناطيس نفسه. وفي سنة 1831 استطاع العالم الانجليزي **فاراداي** **Farrady** (1791-1867) ان يثبت عكس الظاهرة. فلقد اكتشف ان **المغناطيس يطلق**

تيارا كهربائيا عندما يحرك. وهذا يعني ان الكهرباء تنشأ بسبب ما يتعرض له المجال المغناطيسي من تغيرات وأنقطاعات (مبدأ التأثير، او الحث Principe d'Induction). ثم واصل فاراداي دراساته وابحاثه في ظاهرة التأثير عن بعد (الجذب الكهربائي او المغناطيسي) فاكتشف سنة 1845 ان المجال المغناطيسي يؤثر في الضوء المستقطب (ظاهرة الاستقطاب المغناطيسي)، الشيء الذي اثبت وحدد وجود علاقة بين الضوء والمغناطيس شبيهة بالعلاقة الموجودة بين المغناطيس والكهرباء.

هكذا بدأت تظهر بوادر الوحدة بين ثلاثة فروع من الفيزياء: الكهرباء والمغناطيس والضوء. وقد تصدى العالم الانجليزي ماكسويل Maxwell (1831–1879) لدراسة هذه الظواهر الجديدة، محاولا ايجاد تركيب لما كان معروفا من قوانين الكهرباء والمغناطيس يحل اللغز الجديد، فتبين له ان التأثير المغناطيسي والتأثير الكهربائي لا ينتشران انتشارا آنيا، بل حسب سرعة كبيرة جدا، وعلى شكل امواج. وقد استطاع ان يحدد بواسطة معادلته المشهورة سرعة هذه الامواج. فكانت هي نفس سرعة الضوء (300 الف كلمتر في الثانية).

واذن، فالامواج الكهرطيسية (الكهربائية – المغناطيسية) – والامواج الضوئية لها نفس السرعة، وبالتالي هي ذات طبيعة واحدة. وهكذا اوضحت معادلة ماكسويل الحقيقة التالية:

- الضوء عبارة عن أمواج كهرطيسية، اي عبارة عن مجال كهربائي ومجال مغناطيسي ينتشران في آن واحد.
- من الممكن احداث مجالات (او حقول) كهرطيسية تنتشر بسرعة الضوء.

هكذا أسس ماكسويل ذلك الفرع الهام والاساسي من الفيزياء الكلاسيكية والمعروف باسم الكهرطيسية Electromagnétisme، واكثر من ذلك وأهم، تأيدت نظريته تجريبيا باكتشاف العالم الالماني هرتز Hertz سنة 1888 امواجا عرفت باسمه(الامواج الهرتيزية)، وهي امواج لها خصائص مماثلة لخصائص الكهرباء وتنتشر بسرعة الضوء، ولا تختلف عن الموجات الضوئية الا بكونها اطول منها. ثم دخلت هذه الامواج في عالم التطبيق، فكان الراديو وكانت مختلف اجهزة الارسال اللاسلكي.

الضوء عبارة عن موجات، لا عن حبات. هذا ما ثبت في ميدان علم الضوء نفسه مع ابحاث وكشوف فرينل، كما رأينا. وهذا ما تأكد الآن خارج ميدان علم الضوء، بفضل تقدم الدراسات في الكهرباء والمغناطيس، بفضل نظرية ماكسويل المبنية على معادلة رياضية تمتاز بكامل الصرامة التي تبعد كل شك او تردد في قبول النظرية الموجية كنظرية تعبر لا عن فرضية، بل عن حقيقة علمية اكيدة.

لقد استرجعت النظرية الموجية مكانتها، وأصبحت وحدها المقبولة علميا، ومع ذلك

بقيت تعاني من صعوبة ملازمة لها منذ البداية. ذلك انها لا تستطيع ان تستغني عن تلك الفرضية المزعجة، فرضية «**الاثير**». وعلى الرغم من ان ماكسويل قد قلل من شأن هذه الفرضية حينما فسر الضوء بكونه عبارة عن امواج كهرطيسية، فلقد بقي من الصعب، مع ذلك، تصور «ماذا يتموج» حين انتشار الامواج الضوئية في الفراغ؟ لقد ظل السؤال قائما ومحرجا، ومع ذلك سكت العلماء عنه لان المعادلة الرياضية التي تتوفر عليها النظرية الموجية، معادلة صلبة متينة تمكن من التوقع التام، الشيء الذي ولد في نفوس العلماء انطباعا حملهم على الاعتقاد بأن جميع الظواهر الممكن اكتشافها في المستقبل لا بد ان تقبل التفسير بالنظرية الموجية في شكلها الجديد. اما المسائل الجزئية الاخرى كمسألة الاثير، فان الوقت كفيل بايجاد جوابَ عنها، داخل النظرية نفسها.

كان هذا هو الرأي السائد طول العقود الاخيرة من القرن التاسع عشر. لقد تعززت خلال هذه الفترة ثقة العلماء بأنفسهم، واعتبر كثير منهم ان العلم الفيزيائي قد اكتمل او قارب الكمال، وان المسائل التي لم تحل بعد هي مجرد مسائل جزئية لا بد ان تجد حلها في مستقبل الايام، في اطار النظريات القائمة يومئذ.

ولكن تأتي الرياح بما لا تشتهي السفن، **ويأبى العلم الا ان يكسر طوق النزعة الدجماتية التي تحاول الوقوف به عند مرحلة ما من التطور**. وهكذا فما ان أطل القرن العشرون حتى اخذ البناء الشامخ الذي شيدته الفيزياء الكلاسيكية منذ جاليلو يتزعزع من اساسه...

لقد سجل عام 1900 بداية **ثورة جديدة** في مجال الفيزياء، ثورة عميقة هزت الاسس والمفاهيم التي بنى عليها الفيزيائيون علمهم الكلاسيكي. وستكون مسألة «الاثير» منطلقا **لنظرية النسبية** التي كسرت الاطار الاساسي لفيزياء نيوتن وميكانيكاه اطار «**الزمان المطلق**»، **كما ستكون مسألة «الاتصال»** التي تبنى عليها النظرية الموجية، **هدفا** لضربة جديدة تأتيها هذه المرة من ميدان آخر من ميادين المتصل، نقصد بذلك **ميدان الطاقة** التي كانت تعتبر، بدون نزاع، قائمة على الاتصال، لا على الانفصال. من هنا ستنطلق **نظرية الكوانتا** التي تشكل هي ونظرية النسبية الدعامتين الاساسيتين **للفيزياء الحديثة**، فيزياء الذرة، وفيزياء النواة(1).

---

(6) بخصوص مراجع هذا الفصل انظر: قائمة المراجع في آخر الكتاب.

# الفصل الثاني

# نظرية النسبية

## 1 - الفيزياء الكلاسيكية ومفاهيمها الاساسية

ان الافكار والنظريات الفيزيائية التي تتبعنا تطورها في الفصل السابق، والتي بلغت اوجها - كما رأينا - في اواخر القرن الماضي أصبحت تشكل الان ما يسمى بـ« الفيزياء الكلاسيكية »، الفيزيائية التي لا تنطبق قوانينها ومفاهيمها الا على المستوى الماكروسكوبي مستوى الحياة العادية التي الفناها نحن البشر. اما على المستويين الآخرين، مستوى العالم الاكبر، عالم الفضاء والسرعات الكبيرة المقاربة لسرعة الضوء، ومستوى العالم الاصغر، مستوى الجسيمات الاولية كالالكترونات وغيرها، فان هناك قوانين خاصة، وتصورات جديدة تشكل في مجموعها ما يسمى بالفيزياء الحديثة التي تحتل فيها نظرية النسبية ونظرية الكوانتا موقعا اساسيا.

لقد ارتكزت الفيزياء الكلاسيكية، منذ اول نشأتها مع جاليلو ونيوتن، على جملة من المفاهيم التي استوحيت في غالب الاحيان من الحدس الحسي والقياس البشري العادي، والتي وان صلحت في ميدان العالم الماكروسكوبي فانها لا تصلح فيما يتجاوزه كبرا وصغرا. ولذلك كان لا بد من اعادة النظر في تلك المفاهيم والتصورات ومراجعة القوانين المؤسسة عليها، الشيء الذي ادى، في نهاية الامر، الى صياغة قوانين ونظريات اعم واشمل، وجعل من الفيزياء الكلاسيكية حالة خاصة فقط ضمن حالات اخرى تعمها جميعا التصورات الجديدة. وكما سنلاحظ فيما بعد فان الفرق بين نتائج التصورات الجديدة والتصورات القديمة هو من الضآلة الى درجة انه لا يؤثر في الظواهر التي هي من المستوى العادي، مستوى العيان البشري، ولكنه يصبح ذا مفعول كبير عندما يتعلق الامر بالظواهر التي تنتمي الى العالم المتناهي في الصغر، عالم الذرة والجسيمات الدقيقة، او الى العالم المتناهي في الكبر، عالم الفضاء والسرعات المقاربة لسرعة الضوء.

قبل القيام باطلالة خاطفة على صرح نظرية النسبية لاينشتين، نرى من المفيد التذكير ببعض المفاهيم الاساسية التي ارتكزت عليها الفيزياء الكلاسيكية، والتي جاءت نظرية النسبية لتهزها هزا ولتعدلها تعديلا جذريا.

لنبدأ **بالزمان**. لقد كانت الفيزياء الكلاسيكية تعتبر الزمان عاما ومطلقا[1] ينساب بنفس الشكل، بالنسبة لاي كان، في كل مكان. ومن هنا كان **التآني** (او التزامن) Simultaneite يعني حدوث حادثتين او اكثر في لحظة واحدة بالنسبة لاي مراقبيْن يتوفران على آلتين لضبط الوقت تسيران على وتيرة واحدة. اما المسافة التي تفصل بينهما، اما حركة احدهما وسكون الآخر، او تحركهما معا تحركا مختلف السرعة او الاتجاه، فتلك كلها امور لا تغير شيئا من ظاهرة التآني كحقيقة واقعية. نعم قد يختلف التوقيت بين مكان او آخر او بين مدينة وأخرى، ولكن هذا الاختلاف يمكن ضبطه بدقة، بعملية طرح او جمع بسيطة، او يمكن تجاوزه بالمرة باستعمال «ساعات» متزامنة تسيران على وتيرة واحدة. ويمكن ايضا ان يكون هناك بعض الاختلاف في تسجيل حدوث حادثة معينة بين مراقبين يتوفران على «ساعات» متزامنة مضبوطة، كأن يسمع احدهما صوت طلقة مدفع قبل الآخر نظرا لقربه من مصدر الطلقة. ولكن، مع ذلك، يمكنهما الاتفاق على وقت حدوث الطلقة المدفعية بالضبط، بادخال سرعة الصوت في الحساب.

وهكذا، فالتآني، اي حدوث حادثتين او اكثر **في لحظة واحدة**، كان ينظر اليه في الفيزياء الكلاسيكية كحقيقة واقعة لا تقبل الشك. ومن ثمة كان ينظر الى الزمان كاطار عام ينساب بنفس الشكل وبسرعة واحدة بالنسبة لجميع المراقبين مهما اختلفت مواقعهم من حيث القرب او البعد او السكون او الحركة. معنى ذلك ان **جميع الملاحظين يستعملون نفس الزمن**، فليس لاي منهم زمان خاص به، لان الزمان في الفيزياء الكلاسيكية واحد بالنسبة للجميع.

ومثل الزمان، **المكان**، لقد كان المكان يعتبر، هو الآخر، في الفيزياء الكلاسيكية، عاما ومطلقا، لا يختلف من مراقب وآخر مهما اختلفت احوالهم من حيث الحركة والسكون. فاذا قاس احدنا مسافة معينة ووجد فيها عشرة امتار مثلا، فانه يبقى متأكدا من ان اي شخص آخر مهما كان، اذا قاس نفس المسافة بنفس المقياس (المتر) فانه سيجد فيها عشرة امتار ايضا. وكذلك الشأن بالنسبة للمفاهيم والاشكال الهندسية التي الفناها: فنحن نعتبر المكان مستويا، ونقول عن الخطين المتوازيين انهما لا يلتقيان ابدا، وان زوايا المثلث تساوي دوما 180 درجة... الى غير ذلك من «الحقائق» التي نسلم بها، او نبرهن عليها بواسطة هذه المسلمات، في اطار الهندسة الاوقليدية التي نعتبرها صالحة ومطابقة للواقع لكونها تتفق مع حدسنا الحسي وتصوراتنا المستخلصة من التجربة. فنحن نعيش في مكان اوقليدي، يتصف بالنسبة لنا جميعا، متحركين كنا او ساكنين، بخصائص معينة كتلك التي ذكرنا.

وكما تعتبر الفيزياء الكلاسيكية الزمان والمكان عامين مطلقين، تعتبر **الكتلة** مطلقة

(1) انظر في قسم النصوص نصا لنيوتن يشرح فيه تصوره للزمان والمكان المطلق والحركة المطلقة.

كذلك، بمعنى انها تبقى هي هي لا تنقص ولا تزيد مهما احتلفت الاحوال واختلف المراقبون لها. فاذا وزنت جسما ووجدت فيه كيلو جراما واحدا، مثلا، فاني أبقى متيقنا من ان أي شخص آخر، اينما كان سيجد في نفس الجسم نفس الوزن اذا استعمل ميزانا في مثل دقة ميزاني. ان الكتلة، في الفيزياء الكلاسيكي، كتلة محفوظة - **مبدأ حفظ الكتلة**، مثلها مثل **الطاقة**: فكتلة الجسم تبقى هي هي لا تتغير، لا مع الزمن، ولا مع الحركة. نعم قد تكتسي الجسم احوال مختلفة وقد تعتري شكله ومظهره بعض التغيرات، ولكن، مع ذلك تبقى كتلته محفوظة كما كانت، لان المادة لا يضيع منها شيء. انها لا تزيد ولا تنقص، فما ينقص من جسم معين ينضاف الى جسم آخر، وهكذا يبقى المجموع واحدا.

ومن المبادىء التي قامت عليها الفيزياء الكلاسيكية **مبدأ العطالة** (او القصور الذاتي) Inertie. وقد رأيناه مع جاليلو في تحليل ظاهرة سقوط الاجسام(2). وينص هذا المبدأ على ان الجسم يبقى ساكنا او يستمر في حركته على خط مستقيم وبسرعة ثابتة ما لم يكن خاضعا لتأثير قوة خارجية. كما رأينا كيف صاغ نيوتن قانون الجذب العام الذي يحدد العلاقة بين الكتلة والمسافة والزمن، الشيء الذي يمكن من تحديد سرعة الاجسام المتجاذبة اذا عرفت كتلتها والمسافة الفاصلة بينها، ومن تحديد المسافة إذا عرفت السرعة والكتلة، ومن تحديد الكتلة اذا عرفت المساغة والزمن، كل ذلك بشكل مباشر وبطريقة بسيطة (ينص قانون الجاذبية على ان الجسمين ينجذبان بشكل يتناسب طرديا مع كتلتيهما، وعكسيا مع مربع المسافة الفاصلة بين مركزيهما).

نعم، لقد كانت الفيزياء الكلاسيكية - ولا زالت - تراعي النسبة بين الاطوال والمسافات والسرعة والكتلة. من ذلك، مثلا، اني اذا قسمت هذا الثوب ووجدت فيه ثلاثة امتار، وقسمت ثوبا آخر ووجدت فيه اربعة امتار، فان الفارق وهو متر واحد، نسميه **الطول النسبي** للثوبين. وكذلك الشأن في السرعة: فاذا كنت راكبا سيارة تسير بسرعة 120 كلم في الساعة، وكانت هناك سيارة اخرى تسبقني وتسير بسرعة 100 كلم في الساعة، فان السرعة النسبية بين السيارتين هي 20 كلمتر في الساعة. وهذا يمكنني من تحديد المكان والزمان الذين سألحق فيهما بالسيارة التي تسبقني وتسير في نفس اتجاه سيري. اما اذا كنت اسير بسرعة 120 كلمتر في الساعة والتقيت بسيارة تسير بـ100 كلم في الساعة، عكس اتجاهي، فان السرعة النسبية بين السيارتين ستصبح حينئذ 220 كلم في الساعة. وهكذا، فعلى الرغم من ان سرعتي بالنسبة للاشياء الثابتة كالاشجار الموجودة على جانبي الطريق، هي دوما 120 كلم في الساعة. انها السرعة التي يمكن حسابها في اللحظة التي تلتقي فيها السيارتان في اتجاه معاكس. وهكذا **تختلف السرعة النسبية باختلاف اتجاه المتحركين**. فاذا كان اتجاههما واحدا، كانت السرعة النسبية هي عبارة عن الفرق بين سرعتيهما، اما اذا كانا يسيران في اتجاهين متعاكسين، فان السرعة النسبية هي مجموع سرعتيهما معا. كل

(2) الفصل الاول من القسم الاول.

ذلك درسته الفيزياء الكلاسيكية وضبطته بقوانين تركيب السرعات.

لقد تغيرت هذه المفاهيم والتصورات بشكل جذري مع ظهور نظرية النسبية لاينشتين. ان هذه النظرية تعتبر الزمان والمكان والكتلة معطيات تتغير وتختلف اختلافا كبيرا عن حدسنا الحسي وتصورات الفيزياء الكلاسيكية: الطول يتغير! والثوب الذي طوله متر واحد، مثلا، بالنسبة لشخص، قد يصبح طوله بضع سنتيمترات بالنسبة لشخص آخر! وكذلك الشأن في الزمان فما يحسبه ملاحظ ما بعشرات السنين يقيسه ملاحظ آخر ببضع ساعات! والجسم الذي يزن جراما واحدا، قد يصبح ذا وزن خيالي. وبضعة جرامات من المادة يمكن ان تتحول الى طاقة بامكانها، اذا انفجرت، ان تمحو من الوجود جزيرة بأكملها! وأكثر من ذلك تدمج نظرية النسبية بين الزمان والمكان في عالم ذي أربعة ابعاد (الطول والعرض والعمق والزمان)، عالم يتخذ فيه المكان شكلا منحنيا، لا مستويا كما اعتدنا القول، وتصبح فيه المادة عبارة عن سلسلة من التجاعيد (كتجاعيد المياه) في بحر من الزمان - المكان!

نعم ان هذا جد لا هزل. لقد قلبت نظرية النسبية المفاهيم والتصورات الفيزيائية القديمة رأسا على عقب. ولكن يجب ان نفهم ذلك في اطاره العلمي، اطاره الصحيح. ولنبدأ بمفهوم أساسي في هذا الاطار، مفهوم «المنظومات المرجعية».

## 2 - المنظومات المرجعية وأنواعها

العلم كله يقوم على القياس. هذا ما قلناه مراراً. وعندما اقيس شيئا، فاني اقيسه بالنسبة الى شيء آخر اتخذه مرتكزا. وجملة المرتكزات التي استند عليها لتحديد شيء من الاشياء، في المكان او في الزمان، او فيهما معا، تسمى بـ«المنظومة المرجعية» Système de reférence أو بـ«منظومة الاحداثيات» Système de coordonneés. فتحديد نقطة ما على مستقيم نقول انها تبعد بكذا عن نقطة اخرى نعرفها ونرتكز عليها في القياس. قد تكون النقطة - المرتكز، أو النقطة المرجعية، هي نقطة بداية جزء المستقيم، او قد تكون اية نقطة اخرى اصطلحنا على اتخاذها مرجعا ومستندا لقياساتنا. ونفس الشيء نفعله لتحديد جسم ما يوجد على سطح معين. فلتحديد نقطة ما على ارض هذه الغرفة استعمل احداثيا للطول وآخر للعرض، وأقول انها تقع على مسافة كذا من الجدار الذي يمثل طول الغرفة، وعلى مسألة كذا من الجدار الآخر المجاور له الذي يمثل العرض. وبإمكاننا ايضا تحديد موقع المصباح المدلى وسط الغرفة، وذلك بقياس بعده عن الجدارين المذكورين وعن سقف الغرفة (أو أرضها) ونفس الشيء نفعله عندما نريد قياس موقع جسم متحرك. فبإمكاننا تحديد موقع سيارة ما اذا عرفنا سرعتها واتجاهها ومنطلقها.

هذا الشيء واضح، ولكن علينا ان ننتبه الى ان قياساتنا هذه مبنية على مبدأ اساسي، هو اننا نعتبر انفسنا ساكنين غير متحركين. أما اذا كان الملاحظ يركب سيارة

تسير بسرعة 40 كلمتر في الساعة ويريد ان يحدد موقع شيء من الاشياء، ساكنا او متحركا، فان عليه ان يأخذ في اعتباره سرعته هو، بالاضافة الى سرعة - او سكون - واتجاه ذلك الشيء. طبقا لقوانين تركيب السرعات التي اشرنا اليها سابقا. وفي هذه الحالة - حالة حركته - ستكون منظومته المرجعية هي السيارة التي يركبها، مثلما كانت منظومته المرجعية هي المكان الذي كان واقفا فيه عند اجراء قياساته، وهو ساكن. والمهم في الامر هو ان تكون سرعة المتحرك الذي يقيس موقعه، وكذا سرعته هو اذا كان يقوم بالقياس وهو متحرك، **سرعة منتظمة** مستمرة على حالة وحدة، لا تزيد ولا تنقص، وان يكون الاتجاه - اتجاهه هو واتجاه المتحرك الذي يريد تحديد موقعه، **اتجاها لا يتغير** (= مبدأ العطالة).

والمنظومات المرجعية المبنية على هذين الاعتبارين - انتظام السرعة وبقاء نفس الاتجاه - تسمى **بالمنظومات المرجعية الجاليلية** (نسبة الى جاليلو لانه اقام فيزياءه على مبدأ العطالة)، اما اذا كان المتحرك يسير بسرعة **متسارعة** (= تزيد او تنقص، او يتغير اتجاهها) فان المنظومة المرجعية التي يستند عليها ستكون حينئذ **غير جاليلية**. وبعبارة اخرى **ان السرعة النسبية بين منظومتين مرجعيتين جاليليتين سرعة ثابتة في المقدار والاتجاه، وبالعكس من ذلك المنظومات المرجعية غير الجاليلية التي يتغير مقدار سرعتها واتجاهها، بالنسبة الى أية منظومة مرجعية جاليلية.**

هذا التمييز بين المنظومات المرجعية الجاليلية، والمنظومات المرجعية غير الجاليلية اساسي في نظرية النسبية. وهو المبدأ الذي تنقسم بموجبه الى نظريتين: **نظرية النسبية المقصورة** Theorie de la relativite´restreinte وهي تدرس الحوادث في اطار المنظومات المرجعيـة الجـاليليـة، فـلا تـدخـل في حسابهـا التسارع، **ونظريـة النسبيـة المعممـة** Theorie de relativite généralisée وهي تدرس الحوادث في المنظومات المرجعية غير الجاليلية، أي الخاضعة للجاذبية وما ينشأ عنها من تغير في السرعة او الاتجاه.

بعد هذين التمهيدين، ننتقل الآن الى نظرية اينشتين. ولنبدأ القصة من بدايتها الرسمية من مشكلة «الاثير».

## 3 - تجربة ميكلسن ومورلي

رأينا قبل كيف ان فرينل بعث النظرية الموجية في تفسير طبيعة الضوء وكيف ان ماكسويل قد استطاع تتميم النظرية بالقول ان الموجات الضوئية تنشر حولها مجالا مغناطيسيا، مما يجعل منها سواء كانت مرئية او غير مرئية - امواجا كهرطيسية تتموج عبر بحر من الاثير يعم الفضاء وجميع الامكنة. وبذلك بقيت مشكلة الاثير قائمة.

هذا من جهة، ومن جهة اخرى تتبعنا تطور البحث في طبيعة الكهرباء، ورأينا كيف انتهى الامر بالعلماء الى اكتشاف الالكترونات، اي تلك الحبات المشحونة بالكهرباء السالبة

والتي تسري في الاسلاك على شكل قوافل مشكلة التيار الكهربائي. ولما كان الضوء عبارة عن موجات كهربائية - مغناطيسية، فلا بد ان يكون للالكترونات «دخل» في هذه الموجات، وبالتالي لا بد من نظرية تحقق الانسجام بين الكهرباء والمغناطيس والضوء من هذه الزاوية. ذلك ما حاول القيام به العالم الارلاندي لورونتز Lorentz (1853-1928) الذي قال. بفكرة رائدة، مؤداها: ان تسارع الالكترونات تنشأ عنه موجات كهرطيسية. وهذا يعني ان موجات الضوء المرئي (الوان الطيف) والضوء غير المرئي (الاشعة فوق البنفسجية والاشعة تحت الحمراء...) ترجع في وجودها الى الحركة السريعة جدا التي تقوم بها الالكترونات داخل الذرة. ان تسارع الالكترونات هو الذي يسبب في قيام مختلف الموجات الكهرطيسية.

بعد التذكير بهذه المعطيات والتطورات نعود الى تجربة ميكلسن ومورلي، التجربة التي كان الهدف منها دراسة تأثير حركة الارض على سرعة الضوء (= اشعة الشمس)، وتأكيد، او ابطال، وجود «الاثير» كوسط تنتشر فيه الامواج الضوئية. لقد كان الرأي السائد، منذ نيوتن، ان اشعة الشمس - وسرعتها كما هو معلوم 300 الف كلم في الثانية - تنتقل الى الارض عبر الاثير، وبما ان الحركة هي دوما حركة شيء بالنسبة الى شيء آخر، كحركة السيارة بالنسبة الى سطح الارض الذي تسير عليه، فان اشعة الشمس، قياسا على ذلك، تتحرك بالنسبة للأثير الثابت الساكن، او الفضاء المطلق كما قال نيوتن. هذا من جهة، ومن جهة اخرى، فبما ان الارض تتحرك بسرعة 30 كيلمتر في الثانية بالنسبة لهذا الاثير او الفضاء المطلق، تارة في اتجاه الشمس، وتارة في اتجاه آخر يبعدها عنها، وذلك حسب موقعها في مدارها حول الشمس، فمن المفروض ان تتغير سرعة اشعة الشمس المتجهة الى الارض بتغير موقع الارض في مدارها حول الشمس، وذلك طبقا لقانون تركيب السرعات الذي شرحناه آنفا (السرعة النسبية بين متحركين). وبناء على هذا القانون ستكون اشعة الشمس اسرع او اقل سرعة حسب ما تكون الارض تسير متجهة نحو الشمس او مبتعدة عنها هذا مجرد استنتاج، فلا بد من تجربة تؤكده. واذا تأكد تأكدت معه فرضية الاثير.

تلك هي التجربة التي قام بها العالم الامريكي ميكلسن Michelson (1852- 1931) اول مرة سنة 1881، وهي معروفة باسمه. وقد استعمل فيها جهازا من المرايا رتبها بطريقة خاصة تمكنه من مقارنة سرعة اشعة الشمس الواردة من الاتجاه الذي تقترب فيه الارض من الشمس مع سرعة نفس الاشعة الواردة من الاتجاه الذي تبتعد فيه الارض من الشمس. لقد اسفرت هذه التجربة عن نتيجة سلبية، ومحيرة، اذ كشفت ان سرعة اشعة الشمس في الحالتين هي هي. وفي 1887 اعاد ميكلسن التجربة بمساعدة صديقه مورلي Morley، فكانت النتيجة هي هي: ان سرعة اشعة الشمس لا تتغير، انها دوما 300 الف كلمتر في الثانية سواء كان الملاحظ الذي يقيسها يتحرك في اتجاه الشمس او في الاتجاه

المعاكس. وبما ان سرعة الارض في اتجاهها نحو الشمس او عند ابتعادها عنها هي 30 كلمتر في الثانية، وبما ان سرعة الاشعة الضوئية هي كما قلنا 300 الف كلمتر في الثانية، فان تجربة مكلسن مورلي تعطينا المعادلة الغريبة التالية:

$$30 - 30.000 = 30 + 300.000$$

## 4 - التحويل الجاليلي والتحويل اللورنزي.

احدثت هذه التجربة ازمة خطيرة في الفيزياء الكلاسيكية لأنها معطى واقعي لا يتوافق مع القوانين المعمول بها، وفي مقدمتها قانون تركيب السرعات، فراح العلماء يبحثون عن حل. والحل يبدأ باقتراح فرضيات. وكان من بين الفرضيات التي كتب لها النجاح فرضية ادلى بها العالم الارلاندي فيتز جيرالد Fitzgerald مؤداها ان حركة جسم ما تسبب له في انكماش من جهة حركته. وهذا يعني ان اشعة الشمس، وهي من طبيعة كهرطيسية، اي تدخل الالكترونات في تركيبها، تتعرض لانكماش في اتجاه حركتها نحو الارض. وهذا الانكماش الخفي هو السبب في بقاء سرعة الشمس ثابتة، سواء كانت الارض تسير في اتجاهها او تبتعد عنها.

قبل العلماء بهذه الفرضية، وراحوا يقيسون مقدار هذا الانكماش، فالعلم مغرم بالقياس، ولولا القياس لما كان علم. وهكذا لم يسر وقت قصير حتى استطاع لورنتز عام 1903 تحديد مقدار هذا الانكماش وصياغته في عبارة جبرية، وهي:

$$\sqrt{1 - \frac{هـ^2}{ن^2}}.$$

ومعناها ان الجسم الذي يسير بسرعة مقاربة لسرعة الضوء يتعرض لانكماش من جهة حركته مقداره جذر: واحد ناقص مربع سرعة ذلك الجسم مقسومة على مربع سرعة الضوء. وواضح من هذه العبارة الجبرية، وتسمى **معامل الانكماش اللورونزي** ان طول الجسم ينعدم تماما عندما يتحرك بسرعة تساوي سرعة الضوء. فلو فرضنا ان مسطرة طولها ط، وضعناها في صاروخ يسير بسرعة الضوء - وهذا شيء مستحيل كما سنرى - فان طولها الظاهري طـ (عندما تتحرك بسرعة الضوء) سيكون:

$$ط' = ط \sqrt{1 - 1} = ط \sqrt{0} = 0.$$

لقد اصبح من الضروري اذن، عندما يتعلق الامر بحركة مقاربة بسرعة الضوء - ادخال معامل الانكماش هذا عند تحويل القياسات من منظومة مرجعية، الى منظومة مرجعية اخرى. لقد كانت طريقة التحويل المستعملة من قبل، والمعروفة **بالتحويل الجاليلي** (نسبة الى جاليلو) تقوم على اساس ان الزمان ثابت ومطلق، وان الجسم يبقى

هو هو لا يتغير. فلو فرضنا اننا نريد قياس جسم - او حادثة - يوجد في منظومة مرجعية تتحرك بالنسبة لمنظومتنا المرجعية (منظومتنا المرجعية هي الدار البيضاء مثلا، والمنظومة المرجعية لهذا الجسم هي صاروخ يسير بسرعة عظيمة ومنتظمة)، وان احداثيات هذا الجسم في منظومتنا المرجعية قبل حركته هي «س» للطول، «ص» للعرض، «ع» للعمق، «ز» للزمن (يمكن ان نفترض ان هذا الجسم عبارة عن شمعة تحترق في مدة زمنية: «ز»)،فان التحويل الجاليلي يعطينا الاحداثيات التالية التي تحدد ذلك الجسم عند حركته:

سَ = س + هـ. ز (هـ = سرعة ذلك الجسم)

صَ = ص.

عَ = ع.

زَ = ز.

وواضح من هذا، ان الشيء الوحيد الذي يتغير في هذا الجسم هو طوله (= طوله الحقيقي زائد المسافة التي تفصلنا عنه وهي السرعة مضروبة في الزمان).

أما طريقة التحويل اللورونزي فتتطلب ادخال معامل الانكماش (بالنسبة للطول) او التمدد (بالنسبة للزمان) وهو $\sqrt{1-\frac{هـ^2}{ن^2}}$ حيث ترمز «هـ» لسرعة ذلك الجسم، و«ن» لسرعة الضوء. وبالتالي تصبح احداثياته الجديدة كما يلي:

$$سَ = \frac{س + هـ . ز}{\sqrt{1 - \frac{هـ^2}{ن^2}}}$$ (وهذا هو قيمة الانكماش)

صَ = ص.

عَ = ع.

$$زَ = \frac{ز + \frac{هـ}{ن^2} . س}{\sqrt{1 - \frac{هـ^2}{ن^2}}}$$ (وهذا هو زمن المحلي)

ومن تأمل هذه المعادلات يتبين ان الطول يميل إلى الانكماش، وان الزمن يميل الى التمدد (فلو كان يتعلق بآلة ضبط الوقت لانكمشت حركة عقاربها، أي تثاقلت، وبالتالي يتمدد الزمن ويطول)، الشيء الذي يعني ان لكل منظومة مرجعية تتحرك بالنسبة للاخرى، زمناً خاصاً بها. واذن، فليس الزمن عاما ولا مطلقا.

وكذلك الشأن بالنسبة لضم السرعات، اي تركيبها. ان طريقة التحويل الجاليلية تقوم على جمع السرعات كما هي فلو فرضنا ان سفينة تسير في البحر بسرعة س1، وان مسافرا يسير على ظهرها بسرعة س2، فان سرعة هذا المسافر بالنسبة لصياد يقف على الشاطىء هي: س = س1 + س2. اما طريقة التحويل اللورونزية فتقتضي ادخال المعامل المذكور. وبالتالي يكون حاصل جمع السرعتين كما يلي:

$$\text{س} = \frac{\text{س}_1 + \text{س}_2}{1 + \frac{\text{س}_1 \cdot \text{س}_2}{\text{ن}^2}}$$

فلو فرضنا ان كلبا خياليا يجري بسرعة 90٪ من سرعة الضوء، وان حشرة فوقه تجري بسرعة 50٪ من سرعة الضوء، لكانت سرعة الحشرة بالنسبة لمن يراقبها، حسب التحويل الجاليلي كما يلي: 0،90 + 0،50 = 1،40٪ أي أكثر بكثير من سرعة الضوء. اما طريقة التحويل اللورونزية فتعطينا النتيجة التالية:

$$\text{س} = \frac{0{,}90\,\text{ن} + 0{,}50\,\text{ن}}{1 + 0{,}45} = \frac{1{,}40}{1{,}54}\,\text{ن} = 96{,}5\ \%\text{من سرعة الضوء}$$

اي ان سرعتها اقل قليلا من سرعة الضوء. ولو أن صاروخين انطلق كل منهما بسرعة 90٪ من سرعة الضوء في اتجاهين متعاكسين لكانت سرعتهما الاجمالية حسب التحويل الجاليلي تساوي: 0,90 + 0,90 = 1,80 اي ما يقرب من ضعفي سرعة الضوء. ولكن طريقة التحويل اللورنزية تعطينا النتيجة التالية:

$$س = \frac{0{,}90\text{ ن} + 0{,}90\text{ ن}}{1 + 0{,}90} = \frac{1{,}80}{1{,}81} = 99{,}5\ \%\ \text{من سرعة الضوء}$$

أي اقل قليلا من سرعة الضوء.

وهكذا فمهما كانت سرعة متحرك ما فانه لن يبلغ قط سرعة الضوء **والنتيجة هي ان سرعة الضوء هي الحد الاقصى لكل سرعة ممكنة.**

## 5 – نظرية النسبية المقصورة.

انطلق انيشتين Einstein (1879–1955) – وهو الماني تجنس بالجنسية السويسرية ثم بالجنسية الامريكية – من تجربة **ميكلسن** مورلي ومعادلة التحويل اللورنزي، فصاغ سنة 1905 نظريته النسبية المقصورة، ثم تابع ابحاثه وخرج بنظرية النسبية المعممة سنة 1915. لقد استخلص اينشتين من طريقة التحويل اللورنزية نتيجتها المحتومة **فكسر طوق الفيزياء الكلاسيكية** ومفاهيمها الاساسية، كمفهوم الزمان المطلق والمكان المطلق والحركة المطلقة، وقوانين تركيب السرعة، وحفظ الطاقة.... الخ، منطلقا من المبدأين التاليين:

1 – ان جميع المنظومات المرجعية الجاليلية متساوية من حيث صلاحيتها في القياس، فلا افضلية لاي منها على الاخرى. فلو فرضنا مثلا ان قطارين احدهما واقف في المحطة والثاني يسير بجانبه بسرعة منتظمة (100 كلم في الساعة مثلا)، فلا فرق بين ان يبني المراقب قياساته على اساس ان القطار الاول هو الذي يتحرك او ان الثاني هو الذي يتحرك. وعادة يشعر المسافرون الذين في القطار الواقف وكأن قطارهم هو المتحرك والقطار الآخر ساكن. وكذلك الشأن بالنسبة لقطارين يسيران متوازيين بسرعة منتظمة، فكل منهما يصلح، بنفس الدرجة من الصلاحية، لاجراء القياسات، اي لاتخاذه منظومة مرجعية.

2 – **سرعة الضوء ثابتة لا تتغير، فهي تساوي في جميع الاحوال 300 الف كيلومتر في الثانية، لا تزيد ولا تنقص، وهي اقصى سرعة ممكنة.** (نشير هنا الى ان هذا المبدأ مجرد فرضية تستلزمها طريقة التحويل اللورنزية. ويقوم العلماء حاليا (1976) في بعض جهات العالم بتجارب على الالكترونات للحصول على سرعة اكبر من سرعة الضوء. واذا نجحوا في ذلك، فستنهار كليا نظرية اينشتين. ويظهر انهم ما زالوا لم يتوصلوا الى ذلك).

على اساس هذين المبدأين راح اينشتين يبني صرح نظريته. وفيما يلي بعض معالم هذا الصرح.

## أ - نسبية السرعة

ان الفكرة الاساسية التي ينطوي عليها المبدأ الاول هي ان السرعة نسبية دوما. فسرعة اي جسم، كيفما كان، انما تقاس بالنسبة الى جسم آخر. وسواء اعتبرنا الجسم الاول هو المتحرك او عكسنا الامر، واعتبرنا الثاني هو المتحرك، فالنتيجة ستكون واحدة ما دامت المنظومة المرجعية الخاصة بكل منهما منظومة مرجعية جاليلية (حركة مستقيمة ومنتظمة) وهذا يعني انه ليس هناك اي جسم ثابت في الفضاء ثباتا مطلقا، وان **لا وجود للاثير**، ولا للمكان المطلق. وبالتالي فان سرعة اي جسم يمكن ان تحدد بقيم مختلفة باختلاف المنظومات المرجعية من حيث الحركة والسكون. فالسيارة المتحركة يمكن ان تحدد سرعتها بقيم مختلفة حسب ما يكون من يراقب سرعتها ساكنا او متحركا في اتجاه السيارة او عكس اتجاهها. فاذا كانت سرعتها هي 100 كلمتر بالنسبة لرجل واقف على جانب الطريق، فهي - اي سرعتها - تساوي فقط 20 كلم بالنسبة لمن يتحرك وراءها بسرعة 80 كلم في اتجاهها، وتصبح - سرعتها - 180 كلم في الساعة بالنسبة لمن يسير عكس اتجاهها بسرعة 80 كلم.

وبناء على ذلك يمكن ان نعتبر الارض هي التي تتحرك حول الشمس كما اثبت ذلك كوبرنيك، او نعتبر الشمس هي التي تدور حول الارض كما كان يعتقد القدماء. وهذا هو السر في كون قياسات القدماء المبنية على الفرضية الثانية ظلت صالحة ومساوية تقريبا للقياسات الحديثة المبنية على الفرضية الاولى (وهي حقيقة علمية) فلا زلنا نستعمل نفس قياسات الزمن التي استعملها البابليون (عدد ايام السنة، عدد الشهور.. الساعات... الخ).

## ب - ثبات سرعة الضوء.

ان اعتبار سرعة الضوء ثابتة لا تزيد ولا تنقص يؤدي الى نتائج غريبة لا يستسيغها حدسنا العام. ان هذا يعني ان سرعة اشعة الضوء المنبعثة من احدى السفن الفضائية - مثلا - تساوي دوما 300 الف كلمتر في الثانية، سواء كانت هذه السفينة جاثمة على الارض، او كانت تبتعد عنا او تقترب منا بسرعة 50 الف كلمتر في الثانية (اذا امكن اختراع سفن فضائية تسير بهذه السرعة).

وهذا يختلف تماما بالنسبة لسرعة الصوت، وهو عبارة عن امواج تنتقل في الهواء مثلما

تنتقل الامواج الضوئية في الفضاء. فلو فرضنا ان ربان الطائرة يقود طائرته بسرعة تقل عن الصوت بمتر واحد في الثانية، وانه يتوفر على جهاز قياس سرعة الصوت، فانه سيلاحظ ان امواج ازيز طائرته تنطلق امامه بسرعة متر واحد في الثانية. بمعنى ان سرعة صوت طائرته بالنسبة اليه هي متر واحد في الثانية، في حين انها بالنسبة لمن يراقبها ساكنا لا يتحرك تساوي 340 مترا في الثانية تقريبا (وهي سرعة الصوت). اما فيما يتعلق بالامواج الضوئية المنبعثة من نفس الطائرة فالامر يختلف. انها دوما 300 الف كلمتر في الثانية سواء بالنسبة لمن يركب داخلها، او بالنسبة لمن هو جالس على الارض، او بالنسبة لمن يشق الفضاء بسرعة خيالية.

ويزداد الامر غرابة عندما ندخل ميدان التطبيق. تطبيق هذه السرعة الثابتة التي يتميز بها الضوء على الزمان والاطوال والكتلة. ففي هذه الحالة تتغير القياسات والنتائج. فالملاحظون الذين يقومون بقياساتهم من منظومات مرجعية تسير بسرعة مقاربة لسرعة الضوء يقيسون الاشياء والحوادث بطريقة خاصة. فلكل منهم زمانه الخاص، فلا يستطيعون الاتفاق على تزامن الحوادث. فلا وجود للتآني بالنسبة اليهم. علاوة على ان كلا منهم يبدو للآخر منكمشا من جهة حركته واثقل من العادة. واذن فهناك تغيرات هامة تلحق الزمان والمكان والكتلة.

ج - اختلاف الزمن: مشكلة التآني:

هناء مثال مشهور يبين مدى التغيرات التي تلحق الزمان، في نظرية النسبية، ويعرف باسم «توامي لانجو فان» نسبة الى العالم لانجو فان الذي قال به. لنفرض ان طفلا يبلغ الثانية عشرة من عمره ركب صاروخا يسير بسرعة مقاربة لسرعة الضوء للقيام برحلة الى الفضاء ذهابا وايابا وان له توأما (في مثل عمره) بقي على الارض ينتظره بعدما ودعه في المطار. وتمر الايام والسنون على هذا الأخ الذي ظلّ على الأرض. فينهي دراسته ويتزوج ويرزق اولادا. وهو دائما في انتظار اخيه من رحلته الفضائية. وأخيرا عندما بلغ عمر هذا الاخ الماكث في الارض 32 سنة، اي بعد 20 سنة من سفر اخيه يتلقى برقية من هذا الاخير يخبره فيها بأنه سيحط في المطار. فيذهب صاحبنا الذي على الارض الى المطار. ويحط الصاروخ، وينزل منه اخوه. فماذا سيشاهد؟ انه سيرى اخاه وهو لا زال طفلا عمره 12 سنة. اي نفس العمر الذي كان له عند بدء سفره. فيتعجب ويسأله عن القصة فيندهش الاخ العائد من السفر بدوره من هذا الكبر الذي اصاب اخاه. يقول الاخ العائد من السفر، انا لا افهم، فما هي ساعتي التي بيدي والتي دققتها على ساعتك لحظة سافرت. تشير الى ان الرحلة استغرقت اربع ساعات فقط. وانا لا أشك في هذا. فلقد

تناولت معك هنا في المطار طعام الفطور. ولم اتناول في الصاروخ الا وجبة غذاء واحدة. لقد كبرت يا أخي. هؤلاء اولادك! عجيب! واذن فما عده الاخ المنتظر على الارض بعشرين سنة لم يكن بالنسبة لشقيقه المسافر عبر الفضاء بسرعة تقارب سرعة الضوء سوى 4 ساعات! هذا يدل بوضوح على ان الزمان بالنسبة اليهما ليس واحدا. بل لكل منهما **زمانه الخاص**.

ويؤكد العلماء ان هذه القصة الخيالية ممكنة الوقوع فعلا لو توفرت وسائل للمواصلات تسير بسرعة مقاربة لسرعة الضوء. وان السبب في اختلاف الزمن بهذا الشكل لا يرجع الى طول المسافة التي قطعها المسافر. بل الى ارتفاع سرعته الى الحد الذي يجعلها تقارب سرعة الضوء. ويقول اينشتين انه لو امكن صنع صواريخ تزيد سرعتها على سرعة الضوء (وهذا ما يتناقض مع مبدأ نظرية النسبية هذه) لاصبح في الامكان رؤية الحوادث الماضية والاشخاص الميتين كما كانوا اثناء حياتهم. ذلك لان فعل الرؤية يعتمد، كما هو معروف، على الصورة التي تنقلها الاشعة الضوئية الى العين. فالامواج الضوئية تحمل الينا صور الاشياء، ولذلك فالناس الذين عاشوا قبلنا منذ سنين او قرون او مئات او آلاف القرن، والذين كانت الاشعة الضوئية الموجودة في وقتهم تحمل صورهم. يمكننا رؤيتهم من جديد لو تمكنا من اللحاق بأمواج تلك الاشعة بواسطة صاروخ تزيد سرعته على سرعة الضوء.

هذا من جهة، ومن جهة اخرى فبما ان الامواج الضوئية تستغرق في حركتها بعض الوقت، فان الصور التي تحملها الينا تنتمي الى الماضي ضرورة لا الى ما نسميه بالحاضر. وهذا هو المبدأ المطبق على مراقبة النجوم. فالنجمة القطبية التي نراها «في هذه اللحظة» ليست النجمة القطبية كما هي الآن هناك في مكانها، بل ان ما نشاهده هو فقط صورتها كما كانت منذ 470 سنة. ذلك لان الضوء الذي ترسله الينا هذه النجمة والذي يمكننا من مشاهدتها لا يصل الينا الا بعد 470 سنة من تاريخ انطلاقه منها. ولهذا نقول ان النجمة القطبية تبعد عنا بمسافة 470 سنة ضوئية. **والسنة الضوئية** اصطلاح من اصطلاحات علم الفضاء وهو قياس للاطوال، ومعناه المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة بسرعة 300 الف كلمتر في الثانية! اما الشمس التي ننظر اليها الان فليست سوى صورة لها كما كانت منذ 8 دقائق ضوئية لان ضوء الشمس يستغرق ثماني دقائق للوصول من قرصها الى الارض. وكذلك القمر فنحن نراه كما كان منذ ثانية ضوئية.. وهكذا فان وجه صاحبك الذي يبعد عنك بثلاثة امتار ليس هو وجهه «الان» حين تراه، بل وجهه كما كان قبل لحظة زمنية تقدر بجزء من مائة مليون جزء من الثانية.

ان هذا يؤدي بنا الى طرح **مشكلة التآني** **Silmultaneite** (اي تزامن الحوادث) من

وجهة نظر النسبية. لنفرض ان ملاحظا، وليكن اسمه احمد، يجلس على مقعد وسط العربة الوسطى من القطار بحيث يكون على نفس المسافة من مقدمة القطار ومؤخرته، وليكن هذا القطار يسير بسرعة منتظمة. ولنفرض ان زميلا له، اسمه ابراهيم، يقف على جانب سكة الحديد يراقب القطار. لنفرض ايضا ان في القطار جهازا تم ضبطه بشكل يجعله يرسل اشعة ضوئية من مقدمة القطار ومؤخرته معا، وفي نفس الوقت بمجرد ما يكون احمد مقابلا تماما لزميله ابراهيم عند مرور القطار. ان هذا يعني ان احمد وابراهيم سيشاهدان في «نفس اللحظة» الشعاعين اللذين يرسلهما القطار من مقدمته ومن مؤخرته، فهل هذا صحيح؟.

اذا سألنا ابراهيم وهو يقف على الارض بجانب السكة فانه سيقول: لقد رأيت الشعاعين معا في نفس الوقت. بمجرد ما كان احمد وسط القطار في وضع مقابل لي تماما. اما احمد الذي يوجد جالسا في مقعد بمنتصف القطار تماما، فانه سيقول: لقد رأيت اولا الشعاع المنبعث من مقدمة القطار، ثم بعد ذلك الشعاع الاخر المنبعث من مؤخرته. اي انه شاهد الشعاعين في نقطة تبعد عنه قليلا في اتجاه مؤخرة القطار. في حين ان احمد شاهد التقاءهما في وسط القطار تماما. ان السبب في هذا الاختلاف هو ان احمد يسير به القطار في اتجاه الشعاع المنبعث من مقدمة القطار. اما ابراهيم فهو ساكن لا يتحرك. واذن فمن المستحيل على احمد وابراهيم الاتفاق على نقطة تلاقي الشعاعين في لحظة واحدة بعينها. وبكيفية اعم يستحيل عليهما الاتفاق على تزامن الحوادث، لان كلا منهما يقيس الحوادث حسب منظومته المرجعية. والمنظومة المرجعية التي يستند عليها احدهما تتحرك بالنسبة للاخرى وبالتالي فلكل منهما زمانه الخاص. فلا وجود، في هذه الحالة لزمان عام بينهما.

د - انكماش الاطوال.

وكما انه لا وجود لزمان عام مطلق. فلا وجود، كذلك، لمكان عام مطلق. فالحيز المكاني الذي يشغله جسم من الاجسام يختلف باختلاف الملاحظين الذين يتحرك بعضهم بالنسبة لبعض. لنرجع الى المثال السابق، ولنفرض ان هناك شجرتين على جانب السكة الحديدية بحيث تكون الواحدة منهما مقابلة لمقدمة القطار والاخرى مقابلة لمؤخرته، وذلك عندما يكون احمد مواجها تماما لابراهيم. ان ابراهيم الذي يراقب الامور من الارض (وهو ساكن) يستنتج ان طول القطار يساوي طول المسافة الفاصلة بين الشجرتين، لان الشعاعين الضوئيين وصلاه في لحظة واحدة، عندما كان مواجها لزميله اي عندما كان مواجها لمنتصف القطار تماما. اما احمد الذي يجلس داخل القطار وفي منتصفه تماما، فانه يستنتج شيئا آخر. ان الشعاع الضوئي المنبعث من مؤخرة القطار لم يصله الا بعد برهة من وصول الشعاع الآخر المنبعث من مقدمة القطار. وبما انه يعلم ان سرعة الضوء ثابتة لا تزيد ولا تنقص، فانه سيفسر تأخر وصول الشعاع المنبعث من مؤخرة القطار بكون هذه المؤخرة لم تكن قد وصلت بعد الى الشجرة الاولى عندما كانت مقدمة القطار مقابلة تماما للشجرة

الثانية الشيء الذي يعني ان القطار - في نظره - اطول من المسافة الفاصلة بين الشجرتين. وهكذا فالقطار المتحرك اطول بالنسبة لمن يركب عليه منه بالنسبة لمن يراقبه من الخارج.

ونفس الشيء يقال بالنسبة للاشياء الموجودة داخل القطار. فالذي يراقبها من الخارج تبدو له اقصر مما هي عليه داخل القطار، مثلما تبدو الاشياء الموجودة خارج القطار اقصر بالنسبة لمن يراقبها من داخل القطار، و«عادية» بالنسبة لمن يراقبها على الارض. والسبب في هذا الاختلاف راجع كما قلنا الى ان المراقب الاول يستند في قياساته على منظومة مرجعية (القطار) تختلف عن المنظومة المرجعية التي يستند عليها الثاني (الارض). وهو اختلاف راجع الى كون الواحدة منهما تتحرك بالنسبة للاخرى.

**هـ - تمدد الكتلة، وتحولها الى طاقة.**

وكما يختلف الزمان والمكان باختلاف المنظومات المرجعية التي يرتكز عليها من يراقبون الحوادث، تختلف كتل الاجسام كذلك باختلاف سرعة هذه الاجسام. المبدأ الأساسي في هذا المجال هو التالي: **تتوقف كتلة جسم ما على حركته، فهي تزداد بازدياد السرعة. واذا قاربت سرعة ذلك الجسم سرعة الضوء مالت كتلته الى اللانهاية.**

ليس هذا وحسب. بل ان نظرية النسبية تربط بين الكتلة والطاقة ربطا لا انقسام له. فالطاقة لها كتلة مهما كان نوع هذه الطاقة (الحرارة مثلا لها وزن: الجسم يزن اكثر عندما ترتفع درجة حرارته منه عندما تنخفض) وعندما يشع جسم ما فانه يفقد جزءاً من كتلته. وكتلة جسم ما، مهما صغرت، تتحول الى طاقة عظيمة، وهكذا ينهار مبدأ حفظ الكتلة في الفيزياء الكلاسيكية. وتصبح الكتلة شكلا من اشكال الطاقة وحسب، وبهذا الاعتبار، فالذرة مثلا عبارة عن طاقة مكثفة في نقطة صغيرة من الحيز الذي تشغله. طاقة يمكن ان تنطلق على شكل ضوء وحرارة يعمان المنطقة المحيطة بها. فلو فرضنا أن جسما كتلته جرام واحد (اي وزنه جرام واحد تحول كله الى طاقة، فانه سيعطينا ما يعادل الطاقة (الحرارية والضوئية) التي يمكن ان نحصل عليها باحراق 3.000 طن من الفحم الحجري. (ومن هنا القنبلة الذرية). ويمكننا ان «نتخيل» مقدار الطاقة التي يمكن ان تتحول اليها كتلة ما اذا عرفنا ان الطاقة تساوي حاصل ضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء (ط = ك $ن^2$) علما بأن سرعة الضوء هي 300 الف كلم في الثانية.

كل هذه التغيرات التي تحدثنا عنها لا يمكن مشاهدتها حسيا حتى ولو امكن القيام بالتجارب المذكورة. باستثناء ما يتعلق بالزمان. فالزمن وحده هو الذي يمكن الشعور باختلافه من ملاحظ لآخر. اما ما يلحق الاطوال من انكماش والكتلة من تمدد فلا يمكن ادراكه حسيا فالحساب وحده هو الذي يدل على ذلك. (والسبب الاساسي في هذه التغيرات من الناحية الحسابية هي العبارة الجبرية التي تدخل في التحويل اللورنزي:

$\sqrt{1 - \frac{هـ^2}{ن^2}}$ ، كما رأينا ذلك قبل).

## 6 - نظرية النسبية المعممة.

جميع ما تقدم يتعلق بنظرية النسبية المقصورة التي تدرس الحوادث في اطار المنظومات المرجعية الجاليلية. اي في اطار السرعة المنتظمة المستقيمة. ففي جميع الامثلة المذكورة كنا نفترض ان الاجسام المتحركة تنطلق من نفس السرعة وتبقى محافظة عليها.

اما اذا افترضنا ان الجسم ينطلق بسرعة معينة عندما يكون ازاء ملاحظ يراقب الامور من منظومة مرجعية اخرى، ثم تأخذ سرعة ذلك الجسم في الزيادة او النقصان بشكل منتظم (تزداد او تنقص بمتر في كل ثانية مثلا) فان ما سيجري من حوادث، في هذه الحالة، هو من اختصاص نظرية النسبية المعممة، وهي اكثر صعوبة وتعقيدا. وفيما يلي بعض مرتكزاتها ونتائجها:

### أ - السقوط الحر: تساوي مجال الجاذبية مع التسارع.

ترتكز نظرية النسبية المعممة، على مبدأ اساسي. نصه كما يلي: **يبقى الجسم في حالة سقوط حر، ما دام غير خاضع لتأثير اية قوة كهرطيسية. ومعنى ذلك ان التسارع والجاذبية متكافئان، وانهما معا عبارة عن سقوط حر.**

لفهم هذا المبدأ لا بد من تمهيد وأمثلة:

لنفرض ان حصانا يجر عربة فارغة مرة. ونفس العربة مملوءة مرة اخرى. وان هذا الحصان يستعمل اقصى قوته في الحالتين معا. فماذا سنلاحظ؟ لا شك اننا سنلاحظ ان سرعة الحصان ستكون اكبر عندما تكون العربة فارغة، عنها عندما تكون مملوءة. ان الحصان هنا يمثل القوة التي تسبب الحركة والسرعة. والعربة في حالة فراغها تمثل جسما خفيف الوزن، وفي حالة ملئها تمثل جسما ثقيلا، وبما ان القوة التي يستعملها الحصان في الحالة الاولى هي نفس القوة التي يستعملها في الحالة الثانية فان تغير سرعة العربة راجع الى وزنها (أي كتلتها). وباستطاعتنا تعميم هذه النتيجة فنقول: **تتوقف سرعة جسم ما على كتلته.** فاذا زادت كتلته قلت سرعته. واذا نقصت كتلته زادت سرعته.

وبناء على ذلك يمكن ان نقارن بين كتلة جسم وكتلة جسم آخر بالنظر الى سرعتهما: فاذا اخضعنا هذين الجسمين لتأثير نفس القوة، وكانت سرعة كل منهما مختلفة عن سرعة الآخر، قلنا ان الذي يتحرك بسرعة اضعف هو اكبر وزنا اي ذو كتلة اكبر. فاذا كان الاول يسير بسرعة كليومتر واحد في الساعة والثاني بسرعة ثلاثة كيلومترات في الساعة قلنا ان كتلة الاول اكبر ثلاث مرات من كتلة الثاني.

ان ههنا. اذن، طريقة ممكنة لقياس كتل الاجسام. طريقة تمكننا من قياس الوزن. والكتلة التي نقيسها بهذا الشكل نسميها «**كتلة العطالة**» masse inerte لانها مبنية على مبدأ العطالة الذي قال به جاليلو وصاغه نيوتن كما يلي: «يبقى الجسم ساكنا. او يستمر في

حركته على خط مستقيم وبسرعة ثابتة ما لم يكن خاضعا لتأثير قوة خارجية »(1)). لقد انتقلت العربة من السكون الى الحركة. وهي تنتقل من سرعة ادنى الى سرعة اعلى (اي تتسارع) بفعل قوة الحصان. هذا شيء واضح. ولكن ماذا تمثل قوة الحصان هنا، على ضوء مبدأ العطالة؟.

لنفرض ان هذا الحصان يجر العربة المذكورة في ارض خشنة فيها احجار وتراب وحفر.... لا شك ان الحصان (أي قوته) سيلاقي صعوبة في جر العربة لان الطريق (أي احتكاك العربة مع الارض) تقاومه. اما اذا فرضنا انه يجرها في ارض ملساء جدا. فان عملية الجر ستكون سهلة وبسرعة اكبر. لان مقاومة الاحتكاك ضعيفة واذن فنوعية الطريقة هنا تلعب دورا اساسيا في تحديد السرعة بسبب الاحتكاك والمقاومة. انه كلما كانت مقاومة الطريق ضعيفة كلما ازدادت السرعة. ولو فرضنا ان العربة او اي جسم آخر متحرك لا يلاقي اية مقاومة من هذا النوع (اي يسير في الفراغ) لما كنا في حاجة الى قوة الحصان او اية قوة اخرى لجعله يتحرك باستمرار، بل انه يستمر في حركته.

واذا اخذنا هذه الحقيقة بعين الاعتبار وربطنا بينها وبين ما قلناه قبل من ان سرعة العربة تكون كبيرة اذا كانت العربة خفيفة، وتكون ضعيفة عندما تكون العربة ثقيلة. فهمنا لماذا سمينا هذه الكتلة - كتلة العربة - بـ: «كتلة العطالة». هذا من جهة، ومن جهة اخرى، فاذا نظرنا الى العلاقة بين قوة الحصان وكتلة العربة وتزايد سرعتها (تسارعها) امكننا استخلاص القانون التالي:

**القوة = كتلة العطالة × في التسارع.**

ومعنى ذلك ان قوة الحصان يمكن تقديرها بالنظر الى الكتلة التي يجرها (كبيرة او صغيرة) والسرعة التي يسير بها. فاذا كان هناك حصانان يجران نفس الكتلة بسرعة مختلفة قلنا عن السريع منهما انه اكبر قوة من الثاني. واذا كانا يسيران بنفس السرعة ولكن احدهما يجر كتلة اكبر من الكتلة التي يجرها الآخر، قلنا عن الاول انه اكبر قوة من الثاني.

لنحتفظ بهذا القانون الى حين. ولننتقل الان الى **الطريقة** المعتادة التي نقدر بها اوزان الاجسام. طريقة استعمال الميزان. ومعلوم انه اذا وضعنا جسمين على كفتي ميزان، قلنا عن الذي ينزل بكفته انه اثقل من الآخر. اي ان له كتلة اكبر. ولكن لماذا ينزل الجسم بكفة الميزان؟ وبعبارة اعم لماذا تسقط الاجسام؟ السبب هو الثقل، اي ما نعبر عنه بجاذبية الارض. فلو ان جسما ما لا يخضع لجاذبية الارض لبقي سابحا في الفضاء. (كما نشاهد داخل السفن الفضائية على شاشة التلفزة حيث يبدو رائد الفضاء وكأنه يسبح في «الهواء»). ولذلك نسمي الكتلة التي نقيسها بهذا الشكل - بالميزان - «**كتلة الثقل**» Masse pesante.

(1) راجع تحليلنا لظاهرة سقوط الاجسام كما درسها جاليلو في الفصل الاول من القسم الأول.

واذن لدينا طريقتان لقياس كتلة الجسم: اما الطريقة الاولى المبنية على مبدأ العطالة واما الطريقة الثانية المبنية على الجاذبية اي على الثقل. **فهل هناك فرق بين كتلة العطالة وكتلة الثقل؟.**

للجواب على هذا السؤال يجب ان نلاحظ ان الجسم الذي ندفعه او نجره على الارض يبقى ملتصقا بالارض، بمعنى ان الجاذبية الارضية لا تؤثر فيه. وبعبارة اصح انها تؤثر فيه بنفس الشكل والقوة في جميع نقاطه وجميع الامكنة التي يحتلها في سيره. ان قوة الجذب هنا هي هي، سواء كان الجسم ساكنا او كان متحركا، سواء كان يسير بسرعة منتظمة او بسرعة متسارعة. ومعنى ذلك ان **جاذبية الارض لا تمارس على كتلة عطالته اي تأثير**. هذا في حين ان حركة الجسم من اعلى الى اسفل (سقوطه) تخضع - كما رأينا - لقوة الجاذبية بشكل اساسي. فلو لم تكن هناك جاذبية لما كان هناك ثقل.

واذن، **فان الفرق بين كتلة العطالة وكتلة الثقل هو ان الاولى لا تتدخل فيها قوة الجاذبية، اي لا تحددها قوة الثقل، في حين ان الثانية محددة اساسا بقوة الثقل، اي بتأثير الجاذبية.**

واذا ادركنا هذا بقي علينا ان نتساءل: ما هي العلاقة بين كتلة العطالة وكتلة الثقل، هل هما متساويتان ام لا؟.

لقد اوضحت التجربة انهما متساويتان. وهذا ما كان معروفا منذ جاليلو. وهذا ايضا ما كانت تراعيه الفيزياء الكلاسيكية، ولكن بدون ان تهتم بالبحث في سبب تساويهما. ان البحث في هذا الموضوع هو - كما يقول اينشتين - **نقطة الانطلاق** الاساسية نحو نظرية النسبية. فكيف يشرح اينشتين تساوي الكتلتين؟.

لنعد الى جاليلو ودراسته لظاهرة سقوط الاجسام، لقد توصل كما نعرف، الى نتيجتين اساسيتين هما:

- الاجسام تسقط كلها، في الفراغ، دفعة واحدة، وبسرعة كما نعرف، مهما اختلف وزنها. الوزن - او الكتلة - لا يؤثر في سرعة سقوط الجسم.
- قوة الجاذبية تعوض المقاومة التي يلقاها الجسم الساقط من الهواء. (الجسم الثقيل ينجذب الى الارض بقوة اكبر من انجذاب الجسم الخفيف، نظرا لكبر وزنه ولكن كبر الوزن يجعل هذا الجسم معرضا لمقاومة اكبر من طرف الهواء، فتتساوى سرعة سقوطه مع سرعة سقوط الجسم الخفيف).

واذا ربطنا هذا بما قلناه قبل، من ان الجسم يخضع للقوة التي تحركه (الحصان) حسب كتلته: يقاوم الحركة بشدة عندما تكون كبيرة جدا، وينصاع لها عندما تكون خفيفة، تبين لنا:

- من جهة ان كتلة الثقل تتعلق بقوة الجاذبية.

- من جهة اخرى ان كتلة العطالة تتعلق بالقوة الخارجية المحركة. وقد كنا قررنا قبل ان الجاذبية لا علاقة لها بكتلة عطالة الجسم. وان الاجسام تسقط كلها في الفراغ بسرعة واحدة.

اذن: **كتلة الثقل تساوي كتلة العطالة.**

ويعبر الفيزيائيون عن هذه الحقيقة كما يلي: ان تسارع الجسم الساقط سقوطا حرا يزداد بازدياد كتلة ثقله، وينقص بنقصان كتلة عطالته، وبما ان جميع الاجسام الساقطة سقوطا حرا تتسارع تسارعا ثابتا، فان كتلة الثقل وكتلة العطالة متساويتان.

هذا من جهة، ومن جهة اخرى يتضح مما سبق ان القوة التي ينجذب بها الجسم الى الارض تتعلق بكتلة ثقله، وشدة مجال الجذب. (الجسم الخفيف اذا القي به من علو شاهق قد يبقى معلقا في الفضاء - كالريشة - نظرا لخفة وزنه من جهة، وبعده عن مركز جذب الارض حيث تضعف شدة مجال الجذب).

اذن، يمكننا صياغة هذه الحقيقة كما يلي:

**(1): القوة = كتلة الثقل × شدة مجال الجذب.**

وكنا قد استخلصنا من قبل قانونا شبيها بهذا عندما كنا نحلل كتلة العطالة، وهو:

**(2): القوة = كتلة العطالة × التسارع.**

واذا تأملنا هذين القانونين وربطنا بينهما نستخلص اولا من (2) ان:

$$(3):\ \text{التسارع} = \frac{\text{القوة}}{\text{كتلة العطالة}}$$

ونستخلص ثانيا بتعويض القوة في المعادلة (3) بقيمتها في المعادلة (1) ما يلي:

$$\text{التسارع} = \frac{\text{كتلة الثقل} \times \text{شدة مجال الجذب}}{\text{كتلة العطالة}}.$$

الشيء الذي يمكن ان نكتبه كما يلي:

$$(4):\ \text{التسارع} = \frac{\text{كتلة الثقل}}{\text{كتلة العطالة}} \times \text{شدة مجال الجذب}.$$

وبما ان كتلة الثقل وكتلة العطالة متساويتان، فان العلاقة

$$\frac{\text{كتلة الثقل}}{\text{كتلة العطالة}} = 1 -$$

اذن:

(5): التسارع = 1 × شدة مجال الجذب = شدة مجال الجذب.

**ومعنى هذا ان قوة الجاذبية هي نفس قوة العطالة، اي نفس قوة التسارع. فالجاذبية، اذن، بالنسبة لاينشتين، ليست قوة، بل هي عبارة عن سقوط حر.**

وهكذا فمفهوم السقوط الحر، في نظرية النسبية المعممة يشمل التسارع والقوة والجاذبية. فالارض التي تدور حول الشمس هي في حالة سقوط حر، وكذلك القمر في دورانه حول الارض، ومثل ذلك الكواكب الصناعية. والحجر الساقط من اعلى صومعة هو ايضا في حالة سقوط حر (اذا اهملنا مقاومة الهواء) وكذلك البطل الرياضي الذي يقفز على الحواجز، فهو في حالة سقوط حر، (اذا اهملنا مقاومة الهواء). اما الشخص الذي يقف برجليه على الارض فهو ليس في حالة سقوط حر لانه خاضع لتأثير الكهرطيسية المبنعثة من الارض والضاغطة على رجليه من اسفل الى اعلى.

ب - مثال المصعد.

ولنزيد المسألة وضوحا نقتبس من اينشتين المثال التالي: لنتخيل مصعدا يندفع الى اعلى بتسارع ثابت وبداخله رجل معه بعض الادوات المختلفة الوزن، بعضها من القطن وبعضها من الحديد، وان مراقبا يراقب من الخارج (على الارض) ما يحدث في هذا المصعد.

سيقول هذا الملاحظ الخارجي: ان منظومتي المرجعية منظومة جاليلية، والمصعد بالنسبة لي يتحرك بتسارع ثابت بسبب القوة الخارجية التي يخضع لتأثيرها، ولذلك أرى ان زميلي الذي يوجد في المصعد، يتحرك داخله حركة مطلقة، وانه لا يستطيع تطبيق قوانين الميكانيكا النيوتونية المبنية على مبدأ العطالة، فهو مثلا لا يستطيع ان يقرر - كما استطيع انا - بأن الاجسام التي لا تخضع لاية قوة تبقى ساكنة، انه واشياءه ومصعده، خاضع واياها، لحركة تسارعية ثابتة. وهكذا فلو اطلق من يده قطعة من القطن مثلا او قطعة من الحديد لاصطدمت القطعتان لتوهما مع ارضية المصعد، لان هذه الارضية تتجه الى أعلى، واكثر من ذلك يخيل الي ان زميلي - وهو داخل المصعد - لا يستطيع القفز كما استطيع انا، فلو انه حاول لادركته في الحين أرضية المصعد لنفس السبب، الشيء الذي يجعل من المستحيل عليه مغادرة ارضية المصعد والقيام بما نسميه: القفز الى اعلى.

ذلك ما يقوله الملاحظ الخارجي. اما زميله الموجود داخل المصعد فان له رأيا آخر: انه يقول، ليس هناك ما يحملني على الاعتقاد بأن مصعدي يوجد في حالة حركة مطلقة. نعم انا اوافق على ان منظومتي المرجعية، المرتكزة على المصعد ليست منظومة جاليلية. فهي تتسارع فعلا. ولكني لا اعتقد ان لهذا التسارع اية علاقة مع الحركة المطلقة. ان الاشياء التي احملها معي - القطن والحديد - تسقط كلها، لان المصعد واقع تحت تأثير الجاذبية. ان الامربالنسبة لي لا يختلف عنه بالنسبة لاي ملاحظ على الارض يفسر سقوط

الاجسام بالجاذبية..

هكذا يفسر الملاحظان نفس الحوادث بشكل مختلف: الملاحظ الخارجي يفسر الحركة داخل المصعد بالتسارع الذي يخضع له هذا الاخير، اما الملاحظ الداخلي فهو يفسر نفس الحركةبـالجاذبية. واذن: فالتسارع يكافؤ الجاذبية. واختلاف الملاحظين في تفسيراتها انما يرجع الى اختلاف منظوميتها المرجعيتين. وبإمكان الملاحظ الموجود داخل المصعد ان يفسر الحوادث داخل مصعده اما بالجاذبية كما فعل من قبل، واما بالتسارع اذا بنى ملاحظاته على كون المصعد يتسارع الى اعلى مثلما فعل زميله المراقب من الارض. يبقى بعد ذلك اعتقاد الملاحظ الخارجي القائل ان الرجل الموجود داخل المصعد واقع في حالة حركة مطلقة، غير منتظمة. وهو اعتقاد لا يصمد للنقد، اذ كيف يمكن وصف حركة ما بأنها حركة مطلقة اذا كان بالامكان الاستغناء عنها وتعويضها بتأثير الجاذبية.

ج - الطاقة لها كتلة.

لنوسع المثال السابق قليلا حتى تنكشف لنا حقيقة اخرى. ولنفرض الان ان المصعد يتوفر على ثقب صغير في جداره الايمن. وان شعاعا ضوئيا يدخل عموديا من الثقب الى داخل المصعد، وانه بالتالي يرتسم على الجدار المقابل، مخترقا الفراغ الموجود داخل المصعد، السؤال الان هو: هل يسير الشعاع داخل المصعد في مسار مستقيم ام انه سيسلك طريقا منحرفاً؟.

ان المراقب الموجود خارج المصعد سيقول: بما ان المصعد في حالة تسارع الى اعلى، وبما ان الشعاع يحتاج الى بعض الوقت ليقطع المسافة التي تفصل بين الجدارين، فان ارتسامه على الجدار المقابل سيتأخر عن زمن مروره بالثقب، ولو برهة قصيرة. وفي اثناء هذه البرهة سيكون المصعد قد تحرك الى اعلى، مما يجعل الشعاع يسقط على الجدار المقابل في نقطة منخفضة بالنسبة للثقب وبالتالي لا بد ان يكون مسار الشعاع مسارا منحرفا الى اسفل.

أما المراقب الموجود داخل المصعد فانه يرى رأيا آخر. يقول: بما ان كل ما يوجد داخل المصعد خاضع لتأثير الجاذبية، فليس هنا اية حركة متسارعة، بل فقط تأثير مجال الجذب. وبما ان الشعاع الضوئي «لا وزن له» فان الجاذبية لا تؤثر فيه، وبالتالي فان مساره سيكون مستقيما داخل المصعد.

لماذا يختلف الرجلان؟.

واضح ان الرجل الموجود داخل المصعد يجهل نظرية النسبية، والا لما قال اثناء استدلالاته «ان الشعاع الضوئي لا وزن له». وبالتالي لما توصل الى نتيجة مخالفة لتلك التي قال بها زميله. لقد رأينا ان نظرية النسبية المقصورة تقول ان للطاقة كتلة، وبما ان الضوء طاقة لا بد ان تكون له كتلة. وكتلته هنا من النوع الذي سميناه كتلة العطالة.

وبما ان كتلة العطالة تساوي كتلة الثقل كما بينا قبل، فلا بد ان يخضع الشعاع الضوئي داخل المصعد لتأثير الجاذبية، وبالتالي لا بد ان ينحرف قليلا خلال سيره من الثقب الى الجدار المقابل، مثله في ذلك مثل اي جسم آخر يطلق بسرعة كبيرة من سهم قوي في اتجاه افقي. اذ لا بد ان ينحرف هذا الجسم الى اسفل بفعل جاذبية الارض الى ان ينتهي به الامر الى السقوط. وهكذا فلو ان الملاحظ الموجود داخل المصعد ادخل في حسابه كون الشعاع الضوئي يحمل طاقة وان الطاقة لها وزن لما اختلف مع زميله.

ترى هل تنحرف الاشعة فعلا بتأثير الجاذبية؟.

لقد تأكد العلماء من ذلك اثناء كسوف الشمس عام 1919. فقد راقبوا شعاع نجم كان يوجد على استقامة واحدة مع طرف قرص الشمس اثناء كسوفها، ولاحظوا فعلا ان الشعاع قد انحرف قليلا عند مروره قرب الشمس بسبب تأثير جاذبيتها عليه. وتلك تجربة اكدت، ضمن تجارب اخرى، نظرية النسبية المعممة. ومع ذلك فما زال كثير من العلماء غير مقتنعين بما تقرره من نتائج. وهذا على عكس نظرية النسبية المقصورة التي اصبحت اليوم ضمن النظريات العلمية المؤكدة التي يسلم بها الجميع.

د - الجاذبية وانحراف المكان.

ان المثال السابق يضعنا امام حقيقة اخرى تقررها نظرية النسبية المعممة، حقيقة كون المكان الذي نعيش فيه، مكانا منحرفا لا مستويا كما نعتقد، وذلك تأكيد لهندسة ريمان على هندسة اوقليدس.

قلنا قبل ان اينشتين يقول: ليست الجاذبية قوة، وانما هي سقوط حر. والسؤال الذي يخطر بالذهن ازاء هذه الفكرة هو التالي: واذن ما الذي يسبب في تسارع الاجسام داخل مجال الجذب؟ وبعبارة اخرى لماذا تنجذب الاجسام الى بعضها؟.

يجيب اينشتين: ان الكتلة تسبب في انحراف الفضاء. وبما ان الكون الذي نعيش فيه يشتمل على اجسام ذات كتل هائلة (شموس، نجوم، كواكب، مجرات) فانه لا بد ان يؤدي ذلك الى انحراف الفضاء الذي يحيط بهذه الاجسام، اي لا بد ان يكون المكان منحرفا، تماما كما يحدث لقطعة من الاسفنج (ابونج) عندما نضع عليها جسما ثقيلا. فعندما نضع في وسط قطعة من الاسفنج كرة من الرصاص، تغوص هذه الاخيرة، مسببة في انحراف الاسفنج المحيط بها، فيصبح كروي الشكل. ولو اننا اطلقنا جسما صغيرا (كرة صغيرة من الحديد مثلا) وتركناه يتحرك بحرية (يسقط سقوطا حرا) حول كرة الرصاص التي احدثت ميلا في الاسفنج لاتخذ ذلك الجسم الصغير مسارا منحرفا. وهكذا فالاجسام الساقطة بحرية في منطقة يوجد فيها مسار منحرف بفعل كتلة ما، لا بد ان تتبع في خط سيرها شكلا منحياً **والمسار المنحرف في الفضاء هو الذي يسمى بالجاذبية**. وهكذا فاذا كانت ميكانيكا نيوتن تفسر دوران الارض حول الشمس بقوة الجذب الرابطة بينهما حسب قانون الجاذبية، فان نظرية النسبية المعممة تشرح ذلك كما يلي: **كتلة الشمس ضخمة جدا**،

**وهي لذلك تحدث في الفضاء المحيط بها انحرافا حولها، والارض تسير في هذا الانحراف الذي يشكل مدارها حول الشمس.**

هل نستنتج من هذا ان الحركة في الكون كلها منحرفة، وان لا وجود لحركة مستقيمة؟ يجيب اينشتين بالنفي. ذلك لان الحركة الواحدة قد تكون منحرفة بالنسبة لشيء، ومستقيمة بالنسبة لشيء آخر. لنتخيل كرة حديد صغيرة، او حصاة، داخل عجلة السيارة. فعندما تدور عجلة السيارة تتحرك الحصاة داخلها، فتشكل هكذا خطا منحرفا يتبع شكل العجلة. ولكن الحصاة تتحرك ايضا بالنسبة للارض، وتلامس كل نقطة على طريق السيارة. فهي ترسم هكذا خطا مستقيما. واذن فالمسار الذي تسير فيه الحصاة هو مسار منحرف، اذا نظرنا اليه من حيث علاقته بعجلة السيارة، ولكنه ايضا مسار مستقيم اذا نظرنا اليه من حيث علاقته بالارض.

نخلص مما تقدم الى النتيجة التالية: **وهي ان الفضاء (او المكان) هو بطبيعته منحرف شبيه بالكرة، فهو مغلق**، تماما كخريطة الارض المشخصة على كرة من الجبس فاذا انت تتبعت باصبعك خطا من خطوطها (خط الاستواء مثلا) رجع بك الى نقطة انطلاقك. تماما كما يحدث لمن يسافر في اتجاه الشرق، والذي لا بد ان يعود من الغرب الى نقطة انطلاقه اذا سار على «استقامة واحدة». ونقول على «استقامة واحدة» لاننا الفنا مثل هذا التعبير، والا فالحقيقة ان خط سير هذا المسافر خط منحرف. وكذلك الشأن بالنسبة لجميع الاجسام الساقطة سقوطا حرا. فلو اننا فرضنا ان مسافرا خياليا غادر الارض بصاروخ تقترب سرعته من سرعة الضوء اقترابا كبيرا (99٪ مثلا) فانه لا بد ان يعود الى الارض شاء ام كره. وستكون عودته بعد سنة من زمنه الخاص. وهو زمن يختلف اختلافا كبيرا عن زمن المسافر الخيالي الذي سيقضي سنة من زمنه الخاص على صاروخه (الذي يسير على استقامة واحدة!) سيجد، عند عودته، ان الارض قد مر عليها منذ مغادرته لها، مليارات من السنين. فاذا لم يجدالأرض في مكانها فلا شك ان ذلك سيكون دليلا على انها قد امحت من الوجود خلال هذه الرحلة الطويلة بسبب احدى الكوارث الطبيعية الخارقة، كانفجار الشمس او غيرها من المجرات والمجموعات النجمية.

ولنا بصدد هذا المثال ملاحظتان: الاولى تتعلق بكروية المكان، وضرورة عودة المسافر الى نقطة انطلاقه. والثانية تتعلق بالزمان: لماذا يعيش هذا المسافر الخيالي سنة من زمنه الخاص تعد بمليارات السنين على الارض؟.

بخصوص الملاحظة الاولى يستنتج اينشتين **ان العالم الذي نعيش فيه «عالم نهائي ولكنه غير محدود»**. هو عالم نهائي – له نهاية – لانه يشتمل على كمية محدودة ونهائية من الفراغ والمادة. وهو عالم غير محدود لان المسافر فيه لا يجد ما يعترض حركته: فليس هناك جدار ولا شاطىء ولا اي شيء آخر يحد من سيره. **فالمكان منحن ومغلق**، وبامكان المسافر ان يستمر في حركته وعلى «استقامة واحدة» الى غير ما نهاية ولا حد.

اما بخصوص الملاحظة الثانية فواضح ان قصر زمن المسافر الخيالي راجع الى سرعته العظيمة جدا (قارن هذا مع توأمي لانجوفان) وهكذا يمكن ان نميز ثلاثة انواع من الزمان:

- زمن شخص في حالة سقوط حر، كمن يركب سفينة فضائية تسبح حول الارض دون ان تكون هناك اية قوة كهرطيسية تؤثر فيها، ولا اي محرك يدفعها او يجرها، ولا اي شيء يجذبها.
- زمن شخص يعيش في الارض ويراقب الامور منها، كما نعيش نحن تماما.
- زمن رجل ينطلق به صاروخ بسرعة عظيمة كالمسافر الخيالي الذي تحدثنا عنه.

فأي زمن اطول؟

ان زمان الشخص الاول سيكون طويلا جدا لانه في حالة سقوط حر وغير خاضع لتأثير اية قوة. ولذلك فهو سيشيخ قبل زميليه الاخرين. (عندما نقول: زمن أطول، نقصد بذلك مرور عدد من السنين اكبر من الزمن الطويل هو الذي يمر بسرعة).

أما زمان الشخص الثاني فهو اقصر من زمان الاول، لكونه واقعا تحت تأثير جاذبية الارض. فالارض تجره معها خلال حركتها. فهو بالنسبة لزميله الاول كنسبة التوأم المسافر الى الباقي على الارض في مثال لانجو فان.

وأما زمان الثالث فسيكون اقصر من زمان الثاني، وبالاحرى من زمان الاول، لانه يركب صاروخا ينطلق بسرعة، فهو بالنسبة للثاني بمثابة التوأم المسافر بالنسبة للتوأم الذي بقي على الارض في مثال لانجوفان.

وبإمكان القارىء ان يفهم هذا جيدا اذا استحضر في ذهنه الطريقة التحويل اللورنزي التي شرحناها قبل.

### هـ - زمكان اينشتين، او عالم منكوفسكي.

اعتدنا في حياتنا الجارية ان نفصل بين الزمان والمكان. فنحن نقول مثلا: حدثت الحادثة الفلانية في زمان كذا، وفي مكان كذا. ولا نقول في الزمان - المكان. وحينما نتحدث عن المكان نقصد به المسافات التي تفصل بين المدن او بين البلدان او بين الارض وبقية الكواكب والنجوم، او بين نقطتين او عدة نقط في هذه الورقة. وحينما نتحدث عن الزمان نقصد «المسافات» الزمانية التي تفصل بين لحظة واخرى، سواء سمينا هذه «المسافة» ثانية او دقيقة او ساعة او سنة عادية او سنة ضوئية وقد اعتدنا النظر الى المسافات المكانية مفصولة عن «المسافات» الزمانية. فلماذا لا ندمج الزمان في المكان ليصبحا اطارا واحدا لتحديد الاشياء بدل اطارين اثنين هما: الزمان والمكان؟ ذلك ما قال به اينشتين في نظريته النسبية المعممة حيث يتحدث عن الزمكان (الزمان - المكان) L'espace-temps، وقد قال العالم الروسي مينكوفسكي Minkowski بنفس الفكرة، اي بدمج المكان والزمان في عالم واحد عرف بـ«عالم مينكوفسكي». فما معنى هذا؟.

من الصعب، بل من المستحيل علينا، تصور هذا العالم «عالم مينكوفسكي» او زمكان اينشتين، تصورا حسيا مشخصا، لاننا اعتدنا العيش في مكان اوقليدي ذي ثلاثة ابعاد. ان زمكان اينشتين - او عالم مينكوفسكي - عالم رياضي: المعادلات الرياضية وحدها تثبت امكانية وجوده وتحدد خصائصه. ولتقريب هذا العالم الغريب الى الاذهان يستعين العلماء بأمثلة خيالية. وهذه نماذج منها.

لنبدأ بالتذكير ببعض الخصائص الهندسية لعالمنا الذي الفناه واعتدناه. انه عالم يتشكل من مكان ذي ثلاثة ابعاد (الطول، العرض، العمق). نحن نستطيع ان نحدد موقع هذا المصباح المعلق وسط هذه الغرفة بواسطة الاحداثيات الديكارتية، كما يمكننا تحديد لحظة اشتعال او انطفاء هذا المصباح او المدة التي بقي خلالها مشتعلا، وذلك باضافة احداثي آخر هو الزمان. فنقول ان هذا المصباح موجود على بعد ثلاثة امتار من هذا الجدار وعلى بعد مترين من ذلك الجدار وعلى بعد مترين ونصف من السقف وانه قد ظل مشتعلا لمدة نصف ساعة من دقيقة كذا الى دقيقة كذا. ولكن بامكاننا ان نحدد هذا المصباح مكانيا فقط، او زمانيا فقط. فتحديد موقعه لا يتوقف على الزمن، كما ان تحديد زمن اشتعاله لا يتوقف على موقعه. وهذا معنى قولنا اننا اعتدنا الفصل بين المكان والزمان واننا نعتبرهما اطارين مستقلين احدهما عن الآخر.

ان نظرية النسبية ترفض هذا الفصل، لانه فصل يقوم على اعتبار الزمان والمكان اطارين مطلقين، وقد رأينا قبل كيف ان 'زمن يختلف من ملاحظ الى آخر، فيكون «عاديا» بالنسبة لمن هو على الارض، و«غير عادي» بالنسبة لمن يتحرك في الفضاء بسرعة تقارب سرعة الضوء. فلكل ملاحظ زمانه الخاص، وايضا لكل ملاحظ مكانه الخاص. فالمكان الذي تحدده المسطرة (اي المسافة بين طرفيها، اي طولها) يختلف طولا وقصرا بين ملاحظ وآخر، اذا كان احدهما يتحرك معها في اتجاه طول المسطرة. فالطول هنا يتعلق بالحركة، والحركة زمان. واذن فالزمان والمكان مرتبطان في نظرية النسبية ويتعلق احدهما بالآخر. فلو ان هذه الغرفة مصنوعة من الحديد او البلاستيك المقوى. ولو امكننا الدفع بها في الفضاء بسرعة مقاربة لسرعة الضوء في اتجاه الجدار الذي يمثل الطول فيها، لاختلف هذا الطول بالنسبة لمن يقيسه على الارض عنه بالنسبة لمن يوجد فيها. وذلك بسبب اختلاف المنظومة المرجعية التي يستند عليها الاول عن المنظومة المرجعية التي يستند اليها الثاني.

اننا الان نفهم هذا لاننا نعرف كيف نحدد الاشياء والحوادث بواسطة قوانين ميكانيكا نيوتن وقوانين نظرية النسبية. اننا متقدمون في معارفنا وعلومنا... ولكن تقدمنا هذا تقدم نسبي. هو تقدم بالنسبة لمن هم دوننا، ولكنه تخلف بالنسبة لمن هم اكثر منا تقدما.

لنتصور كائنات اقل منا تقدما وادنى منا درجة، كائنات تعيش في مكان ذي بعدين

فقط، لا تعرف الا الطول والعرض. اما الارتفاع او العمق فلا تستطيع تصوره ولا تخيله. ولتقريب المثال الى الاذهان لنتخيل ان الممثلين الذين نشاهدهم على شاشة التلفزة (وهي مكان ذو بعدين فقط الطول والعرض)، هم في الشاشة، كائنات حقيقية تعيش فعلا كما نشاهدها. ان هذه الكائنات التلفزية تستطيع فعلا تحديد اية نقطة على ارضها (على الشاشة) بواسطة بعدين فقط: الطول والعرض. ولكنها لا تعرف العمق. فالمصباح المدلى في غرفة هذه الكائنات (في الشاشة) مندمج في سطحها، ويكفي لتحديد موقعه معرفة بعده عن جدار الطول وجدار العرض.

ولو انك قلت لهؤلاء الممثلين انكم لا تحددون موقع المصباح بالضبط لانكم تغفلون بعده الثالث، اي الارتفاع، لما فهموك، ولتساءلوا مندهشين: وما معنى العمق؟ ليس في عالمنا عمق. فهو طول وعرض ولا شيء غير ذلك. واذا سألتهم: اية هندسة تستعملون لاجابوك: نحن نستعمل الهندسة الاوقليدية، فبامكاننا ان نرسم مثلثات ومربعات ومكعبات ودوائر وخطوطا متوازية، ان زوايا المثلث عندنا تساوي 180 درجة لانه من نقطة خارج مستقيم لا يمكن رسم الا مواز واحد لهذا المستقيم. ولو سألتهم، وما المستقيم عندكم، لاجابوك: انه اقصر مسافة بين نقطتين.

لنفرض الان ان هذه الكائنات التلفزية تعرضت لحادث خطير، ان الشاشة التي يعيشون فيها، والتي تشكل مكانهم الخاص، قد التوت بفعل الحرارة وأصبحت عبارة عن نصف كرة. انهم في هذه الحالة سيندهشون، لان قياساتهم ستتغير. ان زوايا المثلث لم تعد تساوي 180 درجة، والمستقيم اصبح منحنيا يحاكي انهاء سطح الشاشة (اي المكان الكروي الذي اصبحوا يعيشون فيه الان). ورغم ذلك كله فلا بد ان يتأقلموا مع هذا الواقع الجديد. لا بد ان يغيروا هندستهم، لان الهندسة الاوقليدية لم تعد صالحة لهم، وربما سيهتدون الى هندسة اخرى كهندسة ريمان مثلا. وحينئذ سينشئون ميكانيكا جديدة، وفيزياء جديدة.. وعلما جديدا مبنيا على تصور جديد للمكان، تصور يعتبر المكان كرويا.

لقد «تقدمت» هذه الكائنات فعلا، وأصبحت تمتاز عنا بعلومها وهندستها. وهي اكثر دقة من هندسة اوقليدس وعلومنا المبنية عليها. ولكن مع ذلك ما زلنا نتفوق عليها من حيث اننا ندرك العمق وهي لا تدركه. فلو اننا اخذنا احد هؤلاء الممثلين وسجناه في غرفة لا سقف لها، غرفة يبلغ ارتفاع جدرانها بعض سنتيمترات فقط. لما استطاع الهرب قط. اما نحن فنستطيع بسهولة الافلات من هذا السجن «المفتوح»، وما ذلك الا لاننا ندرك البعد الثالث.

الكائنات التي تحدثنا عنها مسجونة في هذه الغرفة العارية لانها تعيش في عالمين لهما بعدان فقط. اما نحن فنستطيع الافلات منه بسهولة لاننا ندرك البعد الثالث، ونعيش في عالم ذي ثلاثة ابعاد. وما دام الامر يتوقف كله على بعد واحد اضافي، فلماذا لا نتصور كائنات اخرى ارقى منا تعيش في عالم ذي اربعة ابعاد، هي ابعادنا المكانية المعروفة،

مضافا اليها الزمان كبعد رابع؟

لنفرض ان احدنا قبض عليه من اجل افكاره هذه، واودع في زنزانة مغلقة: سقف وأربعة جدران. فهل يستطيع الافلات من هذا السجن؟ هيهات! ان الزنزانة مغلقة من ابعادها الثلاثة. فاذا سار الى اليمين اعترضه جدار واذا سار نحو الشمال اعترضه جدار آخر، واذا تسلق الجدار اعترضه سقف. لنتخيل الان كائنا غريبا اكثر «تقدما» منا، يعيش في عالم ذي اربعة ابعاد فهل يستطيع الافلات من هذه الزنزانة الرهيبة؟ نعم بكل تأكيد. تماما مثلما نستطيع نحن الافلات من زنزانة لا سقف لها. ولكن كيف ذلك؟ لا شك ان جميع المعتقلين في سجون هذه الدنيا يتحرقون شوقا الى معرفة الطريقة. ولكن هل يستطيعون استعمالها. كلا، مع الاسف: انهم يعيشون في عالم ذي ثلاثة ابعاد. وقد وضع السجن على قدهم!.

ولكن لنفرض ان احدهم قد انقلب بقدرة قادر الى كائن عجيب غريب يدمج الزمان في المكان، اي يعيش في عالم ذي اربعة ابعاد. انه في هذه الحالة سيفلت بكل سهولة. وهذه هي الطريقة.

انه سيسافر عبر البعد الرابع، اي في الزمان، ويرجع القهقرى على خط الزمن الى ذلك اليوم الذي كانت فيه هذه البقعة التي بني فيها السجن عبارة عن ارض عارية، وحينئذ يكفيه ان يمشي على قدميه بضعة امتار، آمنا مطمئنا، حتى يغادر حدود السجن، ثم يعود ثانية على خط الزمان الى ان يلحق زمان اخوانه المعتقلين المساكين الذين ما زالوا يعيشون من وراء القضبان! لقد غير صاحبنا زمانه فغير موقعه، فافلت من السجن قبل ان يكون السجن، وها هو يعود الى نفس زمان زملائه المعتقلين... ولكن خارج السجن لا داخله. واذا خشي أن تلقى السلطات القبض عليه ثانية، واذا كان لا يرغب في اعادة الكرة ثانية فبامكانه ان يبقى في الزمان الماضي، الزمان الذي لم يكن فيه هذا السجن ولا هؤلاء القضاة الذين يطاردونه. ان حاله هنا اشبه بمن دخل السينما ووجد الفيلم في نهايته، وبما انه يرغب في مشاهدة الفيلم كاملا، فانه «يسافر» في الزمن، ويرجع القهقرى مع الشريط ويشاهده مقلوبا اول الامر، لانه سيتتبعه من نهايته حتى بدايته، ولكنه يستطيع ايضا مشاهدته في وضعه «الطبيعي» فيسافر معه من بدايته الى نهايته.

هكذا، اذن يدمج هذا الكائن الغريب الزمان في المكان. انه «يسافر» في زمكان واحد: يغادر السجن الى خارجه، اي يتحرك في المكان، ولكن حركته هذه تستلزم منه القيام بحركة في الزمان ايضا، وفي نفس الوقت. فالحركتان بالنسبة اليه حركة واحدة يندمج فيها الزمان بالمكان اندماجا لا انفصام له.

قد تقول كل هذه الشطحات الخيالية مجرد اوهام.. ولكن العالم الرياضي سيجيبك: ان ما تسميه وهما وخيالا لا يختلف في شيء عما تسميه حقيقة. فنفس العمليات الرياضية المطبقة هنا هي نفسها المطبقة هناك. واذا كانت تتفق معي على ان الحقيقة تكون اقوى

وأمتن عندما تعم اكثر ما يمكن من الحالات الخاصة. فاني اقول لك ان ما تسميه «حقيقة» هو فقط حالة خاصة. اما الحقيقة الاعم فهي ما تسميه «وهما» وهاك البرهان.

عندما اقطع مسافة «م» على خط احددها بعدد هو «س» بحيث يكون: $م2 = س2$. وعندما اتبع سيري بعد ذلك في اتجاه الشمال واقطع مسافة «ص» فان المسافة «م» تصبح كما يلي: $م^2 = س^2 + ص^2$. وعندما اواصل رحلتي بواسطة طائرة هيلوكوبتر تنقلني الى اعلى. وأقطع مسافة «ع» الى أعلى. فاني احسب المسافة «م» التي تفصلني عن نقطة انطلاقي الاولى، كما يلي: $م^2 = س^2 + ص^2 + ع^2$.

وما دمت قد انتقلت من البعد الواحد «س» الى البعد الثاني «ص» ثم الى البعد الثالث «ع» الذي يمنعني من الانتقال الى البعد الرابع «ل» وايضا الى البعد الخامس. والسادس. فاذا اكتفيت بالبعد الرابع فان المسافة «م» التي تفصلني عن نقطة انطلاقي ستكون: $م^2 = س^2 + ص^2 + ع^2 + ل^2$.

قد تقول هذا غير ممكن... وسيجيبك العالم الرياضي: الممكن هنا وغير الممكن امران نسبيان: تخيل ان الطائرة التي نقلتني الى اعلى (الى البعد الثالث) توقفت في الفضاء عن الحركة. واصبحت عاجزا تماما عن معرفة اي شيء عن الحركة في اتجاه البعد الثالث، وصرت كالكائنات التليفزيونية التي تحدثنا عنها قبل قليل. انني في هذه الحالة سأحدد موقعي من نقطة انطلاقي بواسطة «س» و «ص» فقط، فأقول: $م^2 = س^2 + ص^2$. واذن فما دام من الممكن الوقوف عند $س^2 + ص^2$ وما دام من الممكن ايضا الانتقال منها الى $س^2 + ص^2 + ع^2$ فلماذا لا أضيف حرفا آخر (اي بعدا آخر واكتب: $م^2 = س^2 + ص^2 + ع^2 + ل^2$... ثم +... +...

واذا اردت التدقيق اكثر، فلتعلم ان تصورنا للمكان الواقعي ذي الابعاد الثلاثة يقوم في الفيزياء الكلاسيكية على مبدأ اساسي هو اعتبار الفاصل المكاني (د.ج) - اي المسافة بين نقطتين معلومتين - ثابتا دوما، وفي جميع المنظومات المرجعية. وقد اوضحت نظرية النسبية ان هذا المبدأ يفقد صحته في ميدان السرعات الكبيرة المقاربة لسرعة الضوء (مثال المسطرة). وقد برهن مينكوفسكي على أنه اضفنا الى الابعاد الثلاثة التي للمكان الواقعي والتي نرمز اليها بـ: س، ص، ع، بعدا رابعامقداره $\sqrt{-1}$ ن.ز (حيث ترمز «ن» لسرعة الضوء، و«ز» لسرعة المنظومة المرجعية، اي سرعة المتحرك) فان الفاصل الزمكاني في العالم ذي اربعة ابعاد سيكون:

$د ك = \sqrt{د س^2 + د ص^2 + د ع^2 - ن^2 د ز^2}$ وهذا الفاصل ثابت دوما في جميع المنظومات المرجعية مهما كانت السرعة. ان عالم منكوفسكي هو مجموع كل القيم التي يمكن اعطاؤها لـ: س، ص، ع، ز. ومنظومة القيم المحددة لكل من: س، ص، ع، ز تمثل نقطة في هذا العالم ذي الاربعة ابعاد، ويسميها مينكوفسكي: «نقطة العالم».

وعندما يتحرك المتغير «ز» بين - ∞ و + ∞ فان «نقاط العالم» ترسم خطا في هذا المكان ذي اربعة ابعاد، يسميه مينكوفسكي «خط العالم» لقد تصور مينكوفسكي عالما ذا اربعة ابعاد يشغل فيه الزمان (وبالضبط $\sqrt{-1}$ ن.ز) البعد الرابع، اي دور الاحداثي الرابع، تصوره رياضيا لا حسيا، مثله في ذلك، مثل لوبا تشيفشكي وريمان وغيرهم من منشئي الهندسات اللاوقليدية[1].

و - المادة والمجال.

كان اينشتين يطمح الى تفسير الكون باجمعه بمبدأ واحد هو المجال. وبمعنى آخر كان يحاول ارجاع قوانين الفيزياء كلها الى قوانين المجال. ومعلوم ان الفيزياء الكلاسيكية تفسر الحوادث الطبيعية كلها بالمادة والحركة. وقد رأينا من خلال نظرية ماكسويل ونظرية النسبية المعممة كيف اصبحت الظواهر تفسر بالمجال، بمعنى ان مفهوم الحركة قد عوض بمفهوم ادق هو المجال. وهكذا اصبح الواقع الطبيعي، ما صغر من ظواهره وما كبر، يفسر بمبدأين اثنين: المادة والمجال.

أراد اينشتين: ان يخطو خطوة ابعد، فيفسر الحوادث كلها بالمجال وحده، وفيما يلي بعض الاعتبارات التي بنى عليها محاولته تلك.

يقول اينشتين: اننا، قبل اكتشاف نظرية النسبية، كنا نميز بين المادة والمجال، باعتبار ان المادة لها كتلة، وان المجال لا كتلة له. وبعبارة اخرى: المادة تمثل كتلة، والمجال يمثل طاقة. ولكن هذا التصور قد تغير بفضل نظرية النسبية التي كشفت لنا عن الحقيقة التالية، وهي المادة عبارة عن خزان هائل من الطاقة، وان الطاقة هي عبارة عن مادة. وبالتالي لم يعد في امكاننا التمييز بين المادة والمجال من ناحية الكيف، لان الاختلاف بينهما لم يعد كيفيا، بل هو اختلاف كمي فقط، نظرا لان كلا منهما عبارة عن طاقة. فما نسميه مادة هو عبارة عن طاقة هائلة مركزة ومكثفة في احدى نقاط المجال. وهكذا يمكن القول: توجد المادة حيثما توجد الطاقة مركزة بشكل هائل، ويوجد المجال حيثما توجد المادة اقل تركيزا. وبالتالي فان الفرق بين المادة والمجال فرق كمي لا كيفي، واذا صح هذا فسيكون العالم الذي نعيش فيه عبارة عن بحر ينساب فيه ماء رقراق، توجد فيه بعض التجاعيد، هنا وهناك. صفحة الماء هي المجال، والتجاعيد هي المادة.

واذا قبلنا هذا التصور فان الحجر الذي نلقيه في الهواء سيكون عبارة عن مجال يتغير، عبارة عن نقطة مركزة من المجال تنتقل في الفضاء بسرعة معينة، هي سرعة ذلك الحجر. وهكذا لن يعود هناك في هذا الكون اي مكان لحقيقة اخرى غير هذا المجال. لقد نجحنا في صياغة قوانين الكهرباء والمغناطيس، والجاذبية على شكل قوانين بنيوية (معادلة ماكسويل) وتمكننا من ادراك التكافؤ بين الكتلة والطاقة. ولم يبق علينا - لتحقيق هذا المشروع - سوى تعديل قوانين المجال بالشكل الذي يجعلها تظل صالحة للاستعمال في المناطق

---

(1) راجع في هذا الصدد نصا في الجزء الاول من هذا الكتاب بعنوان: «رحلة في البعد الرابع».

التي تتركز فيها الطاقة بشكل هائل، تلك المناطق التي نسميها المادة. ونحن اليوم - يقول اينتشتين - لم نتمكن من تحقيق هذا البرنامج بكيفية مرضية ومقنعة، وسيكشف المستقبل عما اذا كان من الممكن - او من غير الممكن - تحقيقه. اما الان فانه لا بد لنا، عند بناء نظرياتنا العلمية، من افتراض وجود واقعين اثنين: المادة والمجال.

هذا ما قاله اينشتين في اواخر حياته. ولا زال مشروعه هذا مجرد فرضية. اذ لم يتوصل العلماء الى ما يؤكدها او يكذبها...

* * *

تلك كانت اطلالة سريعة على نظرية النسبية، ولا شك ان القارىء قد لاحظ مدى الضربات التي كالتها هذه النظرية للفيزياء الكلاسيكية، ومفاهيمها الاساسية. ومع ذلك فان الفيزياء الكلاسيكية فيزياء صحيحة ومشروعة من وجهة نظر النسبية، ولكنها تعتبرها - لا كفيزياء وحيدة ممكنة - بل كحالة خاصة من حالة اعم. ولذلك بقي اينشتين متمسكا بأهم مبدأ في الفيزياء الكلاسيكية وهو مبدأ الحتمية. وسيتعرض هذا المبدأ نفسه لهزة عنيفة جدا، ولكن لا من البحث في العالم الاكبر الذي اهتمت به نظرية النسبية، بل من البحث في العالم الاصغر، عالم الذرة والالكترونات.. نقصد نظرية الكوانتا التي سنتعرف عليها في الفصل التالي.

# الفصل الثالث

# الثورة الكوانتية

## 1 - الاتصال والانفصال في ميدان الطاقة.

اشرنا في الفصل الاول من هذا القسم الى نظرية الطاقة، ورأينا كيف اخذ العلماء في النصف الثاني من القرن الماضي ينظرون الى الحركة والحرارة والضوء والكهرباء كأشكال من الطاقة: الطاقة الميكانيكية، والطاقة الحرارية، والطاقة الضوئية، والطاقة الكهربائية. فكيف كانوا يتصورون الطاقة على العموم: امتصلة هي، ام منفصلة؟.

لقد كان الرأي السائد الى حدود نهاية القرن الماضي ان تجليات الطاقة في مختلف الميادين تتم بشكل متصل. فالطاقة الكهربائية تسري في الاسلاك بشكل متصل، مثلها مثل انواع الطاقة الاخرى. وهذا يعني انه من الممكن تخفيض شدة التيار الكهربائي إلى **أقصى** حد، دون ان يحدث فيه اي انقطاع، ومثل ذلك الطاقة الحرارية. فلقد كان الاعتقاد السائد ان درجة حرارة جسم ما يمكن رفعها او خفضها بكيفية متصلة، اي بكميات يمكن الزيادة فيها او النقصان منها، دون التقيد بكمية محددة لا تقبل التجزئة. وكذلك الشأن في الطاقة الضوئية، اذ كان ينظر الى الشعاع الضوئي على انه مكون من موجات تحمل، عبر مسافات بعيدة، طاقة ضوئية بكميات غير محدودة الصغر، اي انه يمكن تخفيض كمية الطاقة الضوئية بصورة متصلة لا نهاية لها.

ولكن هذا التصور تعرض لضربة قاضية مفاجئة عام 1900 على يد العالم الالماني ماكس بلانك Max Plank (1858–1947) الذي نادى بأن الطاقة، مثلها مثل المادة والكهرباء لا تظهر الا بصورة منفصلة متقطعة، اي على شكل حبات او وحدات محددة تسمى في الاصطلاح العلمي بـ« الكوانتوم » Quantum (والجمع كوانتا Quanta)[1] **فالكوانتوم، اذن هو اصغر كمية من الطاقة يمكن اطلاقها او امتصاصها.**

فما هي اولى النتائج المترتبة عن هذا الكشف الجديد؟.

---

(1) يترجم بعض المؤلفين العرب الكوانتوم بـ« الكم » وأحيانا بـ« الكميم » ونحن نفضل الاحتفاظ بالاسم الاجنبي لانه مصطلح عالمي، تجنبا لكل لبس.

لنتذكر اننا كنا قررنا - في الفصل الاول من هذا القسم - مع علماء اواخر القرن الماضي، ان الضوء يسري على شكل موجات، لا على شكل حبات كما كان يعتقد من قبل. لقد انتصرت النظرية الموجية «نهائيا» عندما تقدم ماكسويل بمعادلته المشهورة التي اثبتت ان الضوء عبارة عن موجات كهرطيسية. والان يفرض علينا اكتشاف بلانك للكائن العلمي الجديد «الكوانتوم» النظر الى الشعاع الضوئي بوصفه حبات من الطاقة تنتقل بسرعة. فهل يعني هذا الرجوع مجددا الى النظرية الجسيمية؟ وكيف يمكن ذلك وهي وحدها لا تستطيع تفسير ظواهر اساسية في ميدان الضوء، ظواهر: التداخل، والانعراج، والاستقطاب؟.

ذلك ما سيتبين لنا بعد الاطلاع على قصة هذا الكشف الجديد.

## 2 - تجربة الجسم الاسود.

اذا سلطنا الضوء الابيض على جسم ما، فان هذا الجسم:

- أما ان **يعكس** مجموع ذلك الضوء، كما تفعل المرآة التي تعكس اشعة الشمس كما هي.

- واما ان **يمتص** ذلك الجسم **بعض** اشعة ذلك الضوء، ويعكس الباقي (ونحن نعرف ان الضوء الابيض مركب من الوان الطيف السبعة). هناك اجسام تمتص الالوان الستة من الطيف ولا تعكس الا لونا واحدا فاذا عكست اللون الاحمر سميناها اجساما حمراء، واذا عكست اللون الاصفر سميناها صفراء، وهكذا...

- **واما ان يمتص الجسم اللون الابيض بأكمله** (أي جميع الوان الطيف)، وبالتالي لا يعكس ايا منها، وفي هذه الحالة يبدو مظلما فنسميه جسما **اسود**. فالورقة المصبوغة بأسود الدخان مثلا تمتص جميع الوان الطيف التي يتألف منها اللون الابيض، ولذلك تبدو سوداء.

وقياسا على هذه الحالة الاخيرة اصطلح العلماء على تسمية الجسم الذي يمتص، بالكامل، الطاقة الضوئية المسلطة عليه بـ«**الجسم الاسود**» وكما ان هناك اجساما تمتص الطاقة الضوئية، هناك بطبيعة الحال اجسام تصدرها (تعطيها) كالشمس او المصباح. وقياسا على ما قلناه قبل، **يمكن ان نتصور جسما اسود يمتص بالكامل الطاقة الضوئية التي يصدرها هو نفسه.**

لنتخيل فرنا اصطناعيا احكم اغلاقه، بحيث لا يمكن ان يتبادل الطاقة مع الخارج (لا شيء من الطاقة ينفذ اليه او يخرج منه)، وان بهذا الفرن مواد مشعة (جمر ملتهب مثلا). **ان اشعاع هذه** المواد لا يمكن ان يتسرب الى خارج الفرن لأن هذا الاخير مغلق بأحكام. ولكن لا شيء يمنع اشعة تلك المواد المشعة الموضوعة داخل الفرن من الانعكاس على جدران الفرن الداخلية، لتعود الى مصدرها، وتمتصها المواد المشعة المذكورة. وبعبارة

اخرى ان هذه المواد المشعة تمتص هي نفسها الاشعة التي تصدرها.

تلك صورة تبسيطية عن «الجسم الاسود». وواضح ان هذا النعت (= الاسود) هو نتيجة مواضعة واتفاق. لقد اصطلح العلماء على تسمية تلك المواد المشعة الموضوعة في الفرن بالجسم الاسود على الرغم من ان داخل الفرن يكون في الغالب ملونا (احمر ناصعا، او احمر قانيا او ذا لهب ابيض او أزرق) حسب درجة حرارة الفرن. فعندما تكون درجة حرارة الفرن منخفضة يكون داخل الفرن اسود، وعندما ترتفع قليلا يصير احمر قانيا، وعندما تشتد يصير احمر ناصعا، ثم أبيض.. ان ذلك يعني ان هذا **«الاسود» يتوقف على درجة حرارة الفرن.**

وليس من الصعب التأكد من ذلك تجريبيا. اذ من الممكن ان ندبر الامور بشكل يسمح لنا بالاطلال على الفرن كله من ثقب صغير مثلا. واذا فعلنا ذلك شاهدنا في بعض الحالات توهج الفرن بضوء مائل الى الحمرة، ضوء منسجم تماما (اي كله احمر ولا لون غيره) الى درجة يصبح معها متعذرا علينا تمييز اي شيء داخله. فالفرن في هذه الحالة يبدو كله قطعة من اللهب الاحمر متوهجة. ان هذا يعني ان جميع نقاط الفرن (ارضه جوانبه سقفه) ترسل، عندما يكون في درجة حرارة معينة وثابتة نفس النوع من الضوء، اي اشعة منسجمة (= غير مركبة). وبإمكاننا تنويع التجربة باقامة افران تختلف حجما وشكلا ومواد مشعة، وفي جميع الحالات سنلاحظ ان الضوء الذي يغمر الفرن يتوقف لونه على درجة حرارة الفرن فقط. وبعبارة اخرى، ان نوع الاشعة (حمراء، او صفراء، او بنفسجية....) التي يرسلها الجسم الاسود المعزول بهذا الشكل يتوقف فقط على درجة الحرارة، لا على الظروف والملابسات الاخرى.

لقد استلفتت هذه الظاهرة – ارتباط نوعية الضوء في الجسم الاسود بدرجة الحرارة – انتباه العلماء فانكبوا على دراستها. ومن جملة المسائل التي اهتموا بها المسألة التالية: بما ان الاشعة قسمان: مرئية وغير مرئية، فما هي نسبة هذه، وما هي نسبة تلك في الجسم الاسود (الفرن). كم فيه مثلا من الاشعة الحمراء (عندما يكون احمر) ومن الاشعة تحت الحمراء والاشعة فوق البنفسجية؟ (وهذان النوعان غير مرئيين). وبما أننا نعرف ان الاشعة، المرئية، وغير المرئية، تختلف باختلاف اطوال موجاتها (او باختلاف تواتر الموجات: كلما قصرت الموجة كان التواتر اشد واكبر)، فان السؤال السابق يعني، من الناحية العلمية، البحث عن المعادلة الرياضية التي تعطينا نسب انواع الموجات الضوئية التي تغمر الفرن في درجة حرارة معينة، وبعبارة اخرى كمية الاشعة الفلانية (الحمراء، مثلا)والاشعة الفلانية (تحت الحمراء... فوق النفسجية... اشعة س).

توصل العالم الانجليزي رايليغ Rayleigh (1842–1919)- ضمن محاولات اخرى – الى صياغة معادلة رياضية تفيد ان **شدة الموجات الضوئية التي يطلقها الجسم الاسود تزداد بتواتر الاشعاع.** وهذا يعني ان كمية الاشعة في الجسم الاسود تتوقف على تواتر موجاتها.

فالضوء المرئي، مثلا، ذو موجات اكبر تواترا من الاشعة تحت الحمراء، ولذلك كانت كميته في الجسم الاسود اكبر من كمية هذه. والاشعة فوق البنفسجية ذات موجات اكبر ترددا من موجات الضوء المرئي، ولذلك كانت كميتها في الجسم الاسود اكبر من كمية الاشعة المرئية وهكذا.

تلك نتيجة استدلالية تعطيها معادلة رايليغ. ولكن فحص اشعة الجسم الاسود فحصا تجريبيا يعطينا نتائج مخالفة. لقد تبين بالقياس التجريبي ان هناك، في درجة حرارة معينة، تواترا معينا (اي نوعا معينا من الاشعة) يكثر اصداره من طرف الجسم الاسود دون غيره. وان شدة الضوء (= **قوته، نصاعته، كثرة موجاته**) تأخذ في النقصان عندما نبتعد عن هذا التواتر المعين، نزولا او صعودا. وبعبارة اخرى كشفت التجربة ان هناك عتبة خاصة بالجسم الاسود، بحيث تزداد نسبة الاشعة التي يصدرها بازدياد تواترها، ولكن فقط الى حد معين، ثم بعد ذلك تأخذ نسبة الاشعة المصدرة في النقصان إذا تجاوز تواترها هذا الحد المعين.

وزيادة في الايضاح نشير الى ان الرسم البياني الذي تعطيه لنا معادلة رايليغ هو عبارة عن خط صاعد (كلما ازداد التواتر ازدادت كمية الضوء) في حين تعطينا التجربة رسما بيانيا على **شكل جرس** (تزداد كمية الضوء بازدياد التواتر الى حد معين، ثم تأخذ في النقصان بازدياد التواتر بعد هذا الحد).

نحن هنا اذن، امام مشكلة خطيرة، مشكلة تناقض النظرية مع التجربة! فما العمل؟ في مثل هذه الاحوال يجب ان يراجع الباحث نفسه، فيعيد النظر في استدلالاته عله يكتشف فيها خطأ او ثغرة، فان تأكد من صحة استدلالاته اصبح من الواجب عليه مراجعة الاسس التي بنى عليها هذا الاستدلال.. راجع رايليغ معادلته هو وكثير من العلماء فلم يجدوا فيها اية ثغرة، واذن، فلم يبق الا مراجعة الاسس!

ولكن كيف؟

ان معادلة رايليغ مبنية ضمنيا على الفكرة السائدة التي تعتبر الطاقة متصلة يمكن تخفيضها الى اقصى حد. ولذلك تأدى الى نظريته القائلة ان شدة الضوء الذي يطلقه الجسم الاسود متناسبة مع التواتر. ولكن بما ان التجربة تكذب هذه النظرية كما شرحنا، فلا بد من مراجعة هذا الاساس، وبما ان الطاقة إما ان تكون متصلة واما ان تكون منفصلة، وليس هناك من احتمال آخر، فلماذا لا نفترض عكس ما افترضه رايليغ، على الرغم من تسليم الناس به.. لماذا لا ننطلق من كون الطاقة تسري على شكل حبات، او وحدات لا يمكن تجزئتها؟

## 3 - بلانك وفكرة الكوانتا

انطلق بلانك من فكرة الانفصال، انفصال الطاقة، واعتبر الضوء عبارة عن طاقة

تسري على شكل كوانتوم، أو **كميات** (تصغير كم) اي وحدات لا تقبل التجزئة. واخذ يبحث عن الكيفية التي تتوزع بها الطاقة الضوئية في الجسم الاسود، رابطا هذا التوزع بتواتر اشعة ذلك الضوء ودرجة حرارة ذلك الجسم، فتوصل الى نتيجة تتوافق تماما مع معطيات التجربة. لقد لاحظ ان معادلة رايليغ تنسجم فعلا مع معطيات التجربة ولكن فقط عندما يتعلق الامر بالتواتر المنخفض. الشيء الذي يدل على ان الحبات الضوئية (اي كوانتوم الطاقة) صغيرة جدا لا يظهر اثرها في الموجات الطويلة. ولكن التجربة تكذب معادلة رايليغ عندما يتعلق الامر بالاشعة ذات التواتر الشديد، فها هنا يلعب كونتوم الطاقة دوره. بمعنى ان قيمته تزداد بازدياد تواتر الاشعاع. ان قيمة الطاقة التي تطلقها الاشعة فوق البنفسجية مثلا اكبر من قيمة الطاقة التي تطلقها اشعة الضوء المرئي، وهذه اكبر من قيمة الطاقة التي تصدرها الاشعة تحت الحمراء. وهكذا، وبعبارة اخرى:

**قيمة الكوانتوم تتناسب مع التواتر:**

ك = هـ × ت او $Q = hf$

(ك = قيمة الكوانتوم. هـ (أو h) عدد ثابت مقداره $6,62 \times 10^{-27}$ ويعرف بـ «ثابت بلانك» أما الحرف: ت(f) فيرمز للتواتر).

وانطلاقا من هذه المعادلة عالج بلانك الجسم الاسود، فتوصل الى نتائج تطابق تمام المطابقة معطيات التجربة، نتائج تعطي منحنيا على شكل جرس.

قد يبدو ان المسألة بسيطة لا تستوجب اندهاشا ولا ترددا. ولكن العكس هو الذي حصل. لقد ارتبك العلماء – وفي مقدمتهم بلانك نفسه – ارتباكا شديدا. بعضهم أوقف ابحاثه وبقي مدهوشا لا يدري ما يفعل. وبعضهم الآخر رفض فكرة بلانك واعتبرها سخيفة. والذين اخذوا منهم المسألة مأخذ الجد شعروا بصرح الفيزياء الذي شيده العلماء منذ جاليلو بصبر وأناة، قد اخذ يتهاوى، وان مصيره الانهيار التام خصوصا والقضية هنا تمس أصلب وارقى القوانين الفيزيائية قوانين الكهرطيسية التي حققت الوحدة والانسجام بين فروع الفيزياء وأعطت للظواهر الكهربائية والمغناطيسية والضوئية تفسيرا معقولا ومقبولا تعززه قوة البرهان الرياضي في معادلة ماكسويل.

انقلاب خطير، هذا الذي ادت اليه معادلة بلانك، لقد اصبح لزاما على العلماء ان يتخلوا عن كثير من المفاهيم والمنطلقات و«المبادىء» التي يعتبرونها صحيحة، والتي شيدوا عليها، بالتالي، العلم الفيزيائي طوال قرون خلت. لقد اصبح لزاما عليهم ان يطرحوا جانبا النظرية الموجية ويعودوا الى نظرية الاصدار، النظرية التي تعتبر الضوء عبارة عن حبات وجسيات تنتقل عبر الفراغ بسرعة كبيرة. ولكن كيف يمكن القول بهذا؟ كيف يمكن تفسير الظواهر الذي اثبتت الطبيعة الموجية للضوء بشكل لا يقبل الشك، وعلى رأسها ظاهرة التداخل، وظاهرة الانعراج؟.

وكما يحدث دائما، فان انقلابا في مثل هذه الخطورة لا يمكن ان يتم بدون معارضة...

فللقديم سلطته على العقول، وقد يشك الانسان في حواسه ولا يشك فيا الفه واعتاده واصبح جزءا لا يتجزأ من المفاهيم العقلية التي بها يفكر، وبها يشيد. كان لا بد اذن من اكتشاف ظواهر اخرى جديدة لا تقبل التفسير الا بالعودة الى فكرة الانفصال، حتى يضطر المعارضون الى التسليم بصواب النظرية الجديدة - القديمة، نظرية الاصدار....

## 4 - الظاهرة الضوئية الكهربائية

في الوقت الذي كان فيه بعض العلماء منشغلين بالجسم الاسود وتوزع الطيف فيه، كان علماء آخرون يدرسون ظاهرة اخرى من الظواهر الضوئية تعرف **بالظاهرة الضوئية الكهربائية** Effet Photoélectrique فما هي هذه الظاهرة الجديدة التي ستعزز بقوة جانب فكرة بلانك وتبرز بوضوح الطبيعة الحبيبية للضوء؟.

لنتأمل التجربة التالية: صفيحتان من المعدن متقابلتان، لا يمر بينهما اي تيار كهربائي. لنسلط حزمة من الضوء قوية على احدى الصفيحتين. اننا سنلاحظ على التو ان تيارا كهربائيا ضعيفا قد اخذ ينتقل من هذه الصفيحة الى الاخرى. ومعنى ذلك ان هناك قافلة من الالكترونات اخذت تغادر الصفيحة التي سلطنا عليها الضوء الى الصفيحة الاخرى. فمن اين جاءت هذه الالكترونات؟ ان التفسير الوحيد الذي يمكن القول به هو ان الضوء المسلط على الصفيحة الاولى قد انتزع من ذراتها مجموعة من الالكترونات. يتأكد ذلك اذا اوقفنا الضوء المسلط على الصفيحة، ففي هذه الحالة يتوقف التيار الكهربائي، اي تكف الالكترونات عن الانتقال من الصفيحة الاولى الى الصفيحة الثانية.

هذه بالاجمال هي الظاهرة الضوئية الكهربائية (الضوء يعطي كهرباء)، كما بسطها اينشتين. اما قوانينها فهي كما يلي:

- اذا سلطنا على الصفيحة المعدنية ضوءاً اقوى مرتين، مثلا، نحصل على عدد من الالكترونات، اكبر مرتين... وهكذا.. وهذا شيء منطقي لا غرابة فيه.

ولكن اذا غيرنا طول موجة الضوء المسلط على الصفيحة، بحيث استعملنا على التتابع اشعة «س» ثم الاشعة فوق البنفسجية، ثم الاشعة المرئية (الوان طيف الشمس)، وبعبارة اخرى اذا زدنا في طول الموجة وبالتالي في قوة الضوء، فاننا سنلاحظ انه كلما زاد طول الموجة قل عدد الالكترونات المنتزعة من الصفيحة وبما ان ازدياد طول الموجة يعني انخفاض التواتر، فان ذلك يعني انه: **كلما انخفض التواتر انخفض عدد الالكترونات، وكلما زاد، زادت**. وهكذا فاذا استعملنا اشعة «س»، وهي ذات موجات صغيرة جدا، وتواتر كبير، اندفعت الالكترونات بكثرة وسرعة. اما اذا استعملنا الاشعة فوق البنفسجية (وموجاتها اطول من موجات اشعة «س» وبالتالي فهي اضعف تواترا) فان عدد الالكترونات، التي ستنتزع من الصفيحة سيقل. وهذا شيء غريب حقا.

وواضح ان وجه الغرابة هنا، هو ان الشعاع الضعيف مثل اشعة «س» او الاشعة

فوق البنفسجية (ضعيف بمعنى ان موجته صغيرة جدا الى درجة انه لا يرى بالعين) ينتزع من الصفيحة المعدنية عددا من الالكترونات، في حين ان الشعاع القوي، مثل الضوء الاحمر والاشعة تحت الحمراء،(موجاتها اطول) لا ينتزع من الصفيحة اية الكترونات.

– اما القانون الثالث للظاهرة الضوئية الكهربائية فهو كما يلي: ان عتبة التواتر التي لا ينتزع بأقل منها اي الكترون، متعلقة بطبيعة المعدن، وفي الغالب تقف هذه العتبة عند الضوء البنفسجي.

كيف نفسر هذه الظاهرة؟.

لقد بقي العلماء مشدوهين امامها فترة طويلة. ذلك لان اول اكتشاف لها كان على يد هيرتز عام 1877. ولم تجد التفسير المقبول الا عندما تصدى لها اينشتين سنة 1905، فجاء تفسيره معززا لنظرية الكوانتا التي قال بها بلانك، وكان قد مر عليها خمس سنين.

ان النظرية الكوانتية، التي تعتبر الضوء عبارة عن حبات من الطاقة، تقدم حلا كميا وكيفيا مقبولا وصحيحا لهذه الظاهرة: ذلك لانه ينزع الكترون واحد، مثلا، من الصفيحة المعدنية في التجربة السابقة، لا بد من طاقة، لا بد من مجهود يصرف في عملية الانتزاع هذه. وهذا المجهود او الطاقة المطلوبة، هو الحبة الضوئية التي اطلق عليها اينشتين منذ ذلك الوقت اسم: **الفوتون**: Photon (بعضهم يقترح تسميتها باسم: السنية الضوئية). وهكذا، فعندما يصل الفوتون، اي الحبة الضوئية، الى الصفيحة المعدنية يصطدم مع الكترون حر (يتحرك بحرية)، فيدفعه بقوة الاصطدام الى الصفيحة الثانية، تماما مثلما يحصل عندما تصطدم كرة البليار مع كرة اخرى وبتعبير آخر: ان الالكترون يستولي على كوانتوم الطاقة الذي يلتقي معه، فيضيف الى قوته الذاتية قوة جديدة اضافية، فيصبح متوفرا على قدر من الطاقة اكبر، ويستطيع بالتالي الانفلات من الصفيحة المعدنية بسرعة معينة.

ذلك هو تفسير ظاهرة الانتزاع. اما عتبة التواتر، فتفسيرها كما يلي: لكي يتم انتزاع الكترون واحد لا بد من طاقة كما قلنا. والفوتون المنبعث من الاشعة تحت الحمراء – مثلا – قليل الطاقة لانه ضعيف التواتر، وقد مر معنا منذ قليل ان قانون بلانك ينص على انه كلما زاد التواتر زادت الطاقة، وكلما انخفض التواتر انخفضت الطاقة. وهكذا يتبين ان الاشعة تحت الحمراء، لا تقوى على انتزاع الالكترونات من الصفيحة المعدنية لانها ذات تواتر ضعيف، وبالتالي ذات طاقة ضعيفة. واما الفوتون المنبعث من الاشعة فوق البنفسجية فهو ذو طاقة اكبر لانه شديد التواتر. ومثل ذلك اشعة س، التي يفوق تواترها، وبالتالي طاقتها، تواتر الاشعة فوق البنفسجية وطاقتها. ولذلك كانت قادرة على انتزاع الكترونات وتمكينها من طاقة عظيمة تجعلها تسير بسرعة اكبر.

وكما هو واضح، فان هذه الظاهرة لا تفسرها الا النظرية الكوانتية القائلة بأن الضوء هو عبارة عن حبات من الطاقة. اما النظرية الموجية، فهي غير صالحة هنا تماما. ذلك لانه لو

كان الضوء امواجا، لكان من المتوقع ان يزداد عدد الالكترونات المنتزعة وتزداد سرعتها، بازدياد قوة الضوء، اي بالزيادة في عدد الاشعة، كأن نستعمل حزمة قوية بدل حزمة ضعيفة (مع الاحتفاظ طبعا بنفس النوع من الاشعة)، فالضوء الاحمر مثلا لا ينتزع اي الكترون سواء كان قويا وهاجا، او كان ضعيفا خافتا. فالمسألة اذن تتوقف على **تواتر الاشعاع**، اي على **طاقة الفوتونات**، لا على قوة الضوء او ضعفه واكثر من ذلك تبقى سرعة الالكترونات المنتزعة بالاشعة فوق البنفسجية مثلا، هي هي، مهما زدنا في عدد هذه الاشعة، ولكن اذا استعملنا اشعة س، وهي اكثر تواترا، وبالتالي اكبر طاقة، فان سرعة الالكترونات تزداد بشكل ملحوظ. ويمكننا تقريب هذه الظاهرة الى الاذهان، بالقول - مع اينشتين - ان امواج البحر لا تنتزع من الجدار المصنوع من الاسمنت والذي تتلاطم عليه في الشاطىء، اية حجارة، مهما كثرت هذه الامواج.. اما اذا تعرض الجدار المذكور لوابل من الرصاص، فانه لا بد ان تحدث فيه ثقوب، اي لا بد ان تنزع منه اجزاء معينة وستكثر هذه الاجزاء، وتزداد سرعة انطلاقها من الجدار اذا استعملنا اسلحة اقوى: رشاشات بدل مسدسات او مدافع بدل الرشاشات.

يؤدي بنا هذا التسليم بالحقيقة التالية، وهي **ان الضوء عبارة عن «وابل» من الفوتونات، وان الفوتون هو كوانتوم الوحدة للطاقة الضوئية**. وهكذا فعوضا عن استعمال الاصطلاح الشائع: «طول الموجة» المرتبط بالنظرية الموجية، يصبح التعبير الملائم هو: «**طاقة الكوانتا الضوئية**».

وكما تعززت فكرة الكوانتا بالظاهرة الضوئية الكهربائية، تأكدت ايضا باكتشاف ظواهر جديدة لا تقبل التفسير الا بالنظرية الجسيمية. من هذه الظواهر: مفعول كامتون ومفعول رامان.

## 5 - مفعول كامتون ومفعول رامان

حدث سنة 1923 ان لاحظ العالم الامريكي كامتون Compton (1892-1962) ان اشعة «س» المسلطة على مجموعة من الالكترونات لا تنتشر عليها على شكل امواج، بل بشكل يشبه انتشار الكرات الصغيرة عندما تسلط على كرات مماثلة. فالمسألة اذن ليست انتشار امواج، بل اصطدام حبات بحبات، اي فوتونات بالكترونات.

وعندما يصطدم فوتون ما (وهو طاقة) باحدى الالكترونات في ذرة من الذرات، فاما ان يرتد ذلك الفوتون، كما يحدث عندما تصطدم كرة بليار مع كرة اخرى من نفس النوع، وفي هذه الحالة يتخذ لنفسه وجهة اخرى غير وجهته الاصلية، فينعكس وينتشر دون ان يتغير فيه شيء كما يحدث للشعاع عندما ينعكس على المرآة، واما ان «يتنازل» الفوتون عن جزء من طاقته نتيجة الاصطدام، فيأخذها منه الالكترون الذي اصطدم به، فان الفوتون الذي فقد جزءا من طاقته يضعف تواتره. وتنخفض سرعته، فيتغير اتجاهه.

اما الالكترون الذي اضاف الى طاقته الاصلية طاقة جديدة فانه يزداد سرعة.

ذلك هو مفعول كامتون Effet Compton الذي له دور كبير في اثبات الطبيعة الجسيمية للضوء. وبعد سنوات قليلة، اي في عام 1928 اكتشف العالم الهندي رامان Raman ظاهرة مماثلة عرفت باسمه (مفعول رامان Effet Raman). وملخص هذه الظاهرة، كما يلي:

لنفرض ان فوتونا صادف في طريقه جزيئا من المادة Molećule مؤلفا من عدد من الذرات. هنا يمكن ان يفقد الفوتون قسما من طاقته، فيأخذه منه الجزيئي ويضيفه الى طاقته هو، فيصبح ذا طاقة اقوى، ويتحول من وضعية «أ» الى وضعية «ب»، وفي هذه الحالة يعود ذلك الفوتون الذي فقد جزءاً من طاقته بتواتر أقل من تواتره الاصلي. ويمكن ان يحدث العكس، وهو ان الجزيئي الذي استولى على جزء من طاقة الفوتون السابق، يصطدم مع فوتون آخر، وتكون النتيجة فقدان ذلك الجزيئي لتلك الطاقة الاضافية التي حصل عليها من الفوتون الاول، فيعود من وضعية «ب» الى وضعية «أ». أما الفوتون الثاني الذي تسلم تلك الطاقة الاضافية فتزداد طاقته ويرتفع تواتره ويشع بأقوى مما كان في السابق.

ومن الممكن، عندما تتعدد الجزيئات والفوتونات، حدوث الظاهرتين معا في وقت واحد، بعض الفوتونات تفقد جزءاً من طاقتها لصالح بعض الجزيئات، وبعض الجزيئات تفقد جزءاً من طاقتها لفائدة بعض الفوتونات.. **ان تبادل الطاقة بهذا الشكل، بين المادة والاشعاع**، بين الجزيئات والفوتونات لا يمكن تفسيره بالنظرية الموجية، وانما بالنظرية الكوانتية كما رأينا. وفي ذلك تأكيد آخر للطبيعة الجسيمية للضوء.

هكذا اخذت النظرية الكوانتية تفرض نفسها، لانها هي وحدها القادرة على تفسير الظواهر الجديدة المكتشفة على المستوى الذري كالظاهرة الضوئية الكهربائية ومفعول كامتون ومفعول رامان، بالاضافة الى ظاهرة «الجسم الاسود» التي كانت منطلقا للنظرية الجديدة.

فهل يعني هذا ضرورة الاخذ من جديد بالنظرية الجسيمية والرمي بالنظرية الموجية في سلة المهملات؟.

الواقع انه من غير الممكن ذلك. فالظواهر الضوئية الاساسية، ويقصد بذلك التداخل والانعراج والاستقطاب تؤكد بشكل لا يقبل الجدل الطبيعة الموجية للضوء. فما دام الضوء يتداخل، وتلك احدى خواصه الاساسية، فانه لا بد ان يكون موجة او شيئا شبيها بالموجة. اضف الى ذلك ان القائلين بالنظرية الكوانتية يستعملون كلمة «**تواتر**»: فقانون **بلانك** ينص، كما رأينا، ان كوانتوم الطاقة متناسب مع **تواتر الاشعاع**. **والتواتر معناه التموج**، واذن فما الذي يتموج؟ اليس الضوء ذاته؟.

ها هنا، اذن، مأزق جديد. ان الطبيعة تفرض على العقل قبول نقيضين، اي صفتين متناقضتين في شيء واحد، وفي آن واحد، هما الاتصال والانفصال.

فكيف يمكن ان يكون الشعاع الضوئي متصلا يقبل القسمة الى ما لا نهاية له، في نفس الوقت الذي يكون فيه منفصلا لا يقبل التجزئة الا الى حد معلوم؟.

## 6 - دوبروي والميكانيكا الموجية

يرى لوي دوبروي Louis de Broglie (مولود عام 1892) وهو عالم فرنسي لامع، ان الظواهر الضوئية، تتطلب، من اجل تفسيرها كلها، القول بالنظرية الموجية تارة، والنظرية الجسيمية تارة اخرى. فالنظريتان، كلتاهما، تفسران، كلا على حدة، جملة من الظواهر معينة. وهذا معناه ان التجربة تؤيدهما معا، ومن ثمة فلا مناص من الاخذ بها واعتبار الضوء في آن واحد، مؤلفا من امواج وحبيبات. ولكن كيف يمكن ذلك؟.

يقول دوبروي ان الشعاع الضوئي يتألف من حبات، تماما كما تقول النظرية الكوانتية، ولكن لكل حبة ضوئية (اي فوتون) موجة خاصة تصحبه باستمرار، وتواتر هذه الموجة يتناسب مع طاقة الفوتون حسب قانون بلانك. وهكذا فعندما ينتشر الفوتون، ويسير عبر الفضاء، يكون مصحوبا دوما بموجة من عنده تغمره وتجعله يشغل حيزا لا يمكن ضبطه بدقة. ومن ثمة يصبح من الصعب ان ننسب اليه موقعا معينا مضبوطا. هناك في هذه الحالة حضور منتظم للفوتون في جميع نقاط الحيز المكاني الذي تشغله موجته. ولكن عندما يرتسم الفوتون على الشاشة مثلا يكشف لنا عن موقعه بالضبط. (انه كالسحابة تنتشر في السماء كموجة ولكنها تنقلب الى حبة ماء في حالة معينة). وعندما تحدث هذه الظاهرة، اي عندما يكشف الفوتون عن موقعه بالطريقة تلك، يتلاشى حضوره المنتظم في الموجة ويصبح من الممكن ضبط موقعه باحتمال يتناسب مع شدة الموجة في النقطة التي كشف فيها عن نفسه.، وبذلك يمكن القول: **عندما يكشف الفوتون عن مظهره الجسيمي، بتموضعه في موقع معين، يختفي مظهره الموجي، وعندما يتأكد مظهره الموجي، اي عندما ينتشر كالسحابة يصبح من المستحيل الحصول منه على طبيعته الجسيمية.**

فكرة جريئة وخيال خصب مبدع. ولكن لماذا يكون الضوء وحده متصفا بهذه الخاصية المزدوجة. ان الالكترون (الكهرباء) لا يختلف عن الفوتون (الضوء) اختلافا كبيرا، فكلاهما حبة من الطاقة، وقد ثبت من قبل، مع ماكسويل ان هناك علاقة حميمة بين الضوء والكهرباء، او ليست الاشعة الضوئية عبارة عن امواج كهرطيسية؟ فلماذا، اذن، لا نعمم هذه الخاصية المزدوجة على الالكترونات ونقول انها **ايضا حبات كهربائية مصحوبة بموجات خاصة؟.**

اندفع دوبروي في تعميم فرضيته على جميع الميادين الذرية التي تطرح فيها مسألة الطاقة: الالكترون يجب ان يكون حبة كهربائية مصحوبة بموجة ترتبط بها دوما.. وبكيفية

عامة: ان الجسيم، من اي نوع كان، يجب ان يكون مصحوبا بموجة.

تلك هي الفكرة الاساسية في الميكانيكا الموجية La mecanique Ondulaire اي العلم الذري الذي يدرس حركة الجسيمات الذرية بوصفها جسيمات مصحوبة بأمواج، والذي اسسه دوبروي عام 1929. لقد كانت هذه الفكرة، اول الامر مجرد فرضية لا تخلو من المجازفة، ولكن كان هناك ما يبررها: فالمادة تتألف من جزيئات، والجزيئات مجمعات من الذرات. والذرات الكترونات تدور حول نواة تتألف من بروتونات ونوترونات. ولقد حاول العلماء، قبل، ضبط حركة الالكترونات حول النواة بواسطة قوانين الميكانيكا الكلاسيكية فلم يستطيعوا، لان الجسيمات في العالم المتناهي في الصغر، تسلك سلوكا يختلف عن سلوك الاجسام في العالم الماكروسكوبي، عالم الفيزياء الكلاسيكية. فلا بد، اذن، ان يكون هناك نوع من الخصوصية في حركة هذه الجسيمات. وذلك ما سنراه بعد.

لقد احدثت فكرة دوبروي هزة قوية في اوساط العلماء فتصدوا لدراستها وتمحيصها. وقد تمكن العالم النمساوي شرووندنجر Schodinger (1887–1961) من ايجاد المعادلة الرياضية التي تحدد تموج الموجة المرتبطة بالفوتون او بغيره من الجسيمات الاولية الدقيقة التي تدخل في تركيب المادة. فكان ذلك تأكيدا لنظرية دوبروي.

ومع ذلك بقي الشك في النظرية قائما. لقد كان لا بد من اكتشاف جديد يثبت قطعية تموج الالكترونات. والخاصية الاساسية للتموج هي التداخل. فما دام العلماء لم يكتشفوا هذه الخاصية في الالكترونات فان القول بوجود موجات تصحبها ضرورة، سيبقى مجالا للشك والاعتراض.

وفعلا توصل عالمان امريكيان عام 1927 هما دافيسون Davisson وجيرمير Germer الى اكتشاف ظاهرتي التداخل والانعراج في الالكترونات. لقد سلطا «وابلا» من الالكترونات على قطعة من معدن النيكل، فلاحظا حدوث ظاهرة الانعراج في هذه الالكترونات شبيهة بتلك التي تحدث عند استعمال اشعة «س». ثم قام علماء آخرون وطبقوا نفس الفكرة على البروتونات، فتوصلوا الى نفس النتيجة، وهكذا تأكد بالتجربة ان المادة بمختلف تجلياتها الذرية هي عبارة عن جسيمات دقيقة ذات طبيعة مزدوجة: جسمية وموجية معا.

## 7 – هيزنبرغ والميكانيكا الكوانتية (علاقات الارتياب)

ان هذه النتيجة التي انتهى اليها دوبروي من خلال ابحاثه في ميدان الضوء هي نفس النتيجة التي توصل اليها عالم الماني شاب، هو الفيزيائي اللامع هيزنبرغ Heisenberg، ولكن بسلوك طريق آخر، واستعمال لغة اخرى، مما ادى به الى انشاء **الميكانيكا الكوانتية، الذرية، الماتريسية**. (هي **ميكانيكا** لانها تدرس حركة الجسيمات، وهي **كوانتية** (او كمية) لانها تنطلق من فكرة كوانتوم الطاقة وثابت بلانك، وهي **ذرية** لان المشاكل التي ادت الى قيامها هي مشاكل تتعلق ببنية الذرة، اخيرا هي **ماتريسية** Matriciele، لانها اعتمدت نوعا

خاصا من الحساب هو الحساب الماتريسي، او «حساب المصفوفات»).

فما هي قصة هذه الميكانيكا الجديدة، وما علاقتها بالميكانيكا الموجية التي انشأها دوبروي، وما هي نتائجها الايبستيمولوجية؟.

للجواب عن هذه الاسئلة لا بد من الرجوع الى عالم الذرة.

## أ - لماذا لا يسقط الالكترون؟

تتبعنا في فصل سابق تطور البحث في الذرة، فرأينا من جهة كيف اثبت العلم وجودها انطلاقاً من النظرية الحركية للغازات، وكيف ادت تجارب التحليل الكهربائي الى اكتشاف الالكترون بوصفه شحنة كهربائية سالبة، ثم كيف تبين للعلماء ان الالكترون هذا مكون اساسي للمادة، وعنصر من عناصر بنية الذرة، الشيء الذي ادى الى افتراض وجود نواة داخل الذرة ذات شحنة كهربائية موجية تبطل مفعول الشحنة السالبة التي يحملها الالكترون ويضمن للذرة الاستقرار والتوازن، ورأينا من جهة اخرى كيف ادى كل ذلك الى تدشين البحث في بنية الذرة، وكيف استطاع روترفورد ان يبرهن على ان الذرة تشبه فعلا المجموعة الشمسية، حيث تدور الالكترونات حول النواة كما تدور الكواكب حول الشمس. وكان الذي ادى الى هذا التصور الفلكي لبنية الذرة اكتشاف العلماء وجود فراغ هائل في الذرة، هو بالنسبة لحجم الالكترون وحجم النواة، كالفراغ الموجود بين الشمس والارض. وكنا رأينا من جهة ثالثة كيف انتهى البحث في الضوء الى اكتشاف الطبيعة الكهرطيسية لامواجه (ماكسويل)، وكيف ادت دراسة الجسم الاسود الى اكتشاف كوانتوم الطاقة. هذا الى جانب الابحاث التي قام بها ماكسويل ولورونتز والتي ساعدت على تشييد تصور واضح للالكترون.

هكذا وجد العلماء انفسهم امام كائنات علمية جديدة، اكتشفت بطرق مختلفة وفي ميادين مختلفة كذلك (الغازات، الكهرباء، الضوء)، كائنات تربط بينها وشائج متينة من القربى وتتجلى في آثار وخصائص تجمع بينها. وقد تأكد هذا بكيفية قاطعة حينما تبين ان كوانتوم الطاقة عنصر يجب ادخاله ضرورة في عالم الجسيمات الدقيقة، عالم الذرة. وكان العالم والفيزيائي الكبير، نييل بور اكثر من غيره انتباها الى ضرورة ادخال كوانتوم العمل في الحساب، لفهم بنية الذرة كما تصورها روتر فورد.

كان العلم آنذاك يعيش ازمة نمو، فظهر وكأنه توقف عن النمو، وكما يحدث دائما في مثل هذه الحالات، فان تخطى الازمة والدخول في آفاق جديدة يتطلب تحقيق التكامل والانسجام بين هذه المعطيات التي تفرض نفسها، على الرغم من تناقض بعضها مع بعض، بل بسبب من هذا التناقض نفسه. ان العلم يؤمن بوحدة قوانين الطبيعة، فلا بد اذن من تجاوز التناقضات التي تفرق بين المعطيات المذكورة.

لقد طرح النموذج الفلكي للذرة صعوبات خطيرة يستعصي حلها في اطار النظريات

السائدة قبل. ولكنه نموذج تفرضه ظواهر تجريبية وتزكيه قوانين اخرى معروفة ومؤكدة. ان .قوانين الميكانيكا الكلاسيكية تقتضي ان يدور الالكترون حول النواة بقوة الجاذبية كما تدور الارض حول الشمس، والا سقط في النواة. ولكن قوانين الديناميكا الكهربائية تستلزم ان يصدر الالكترون طاقة باستمرار، الشيء الذي يضعفه باطراد، ويحتم عليه السقوط في النواة! واذن: **يجب ان لا يسقط الالكترون في النواة، هذا ما يقرره العلم. ولكنه يجب ان يسقط في النواة وهذا ما يقرره العلم كذلك.** فكيف الخروج من هذا المأزق؟ ما العمل حتى «يمنع» الالكترون من السقوط في النواة؟.

نعم ان الطبيعة ما تزال بخير. فالذرة تحتفظ بتوازنها واستقرارها، وهذا يعني ان الالكترون لا يسقط في النواة، ولو حصل ذلك لانهار العالم. ولكن، اليست القوى الفاعلة بين الالكترون والنواة قوى كهربية؟ اليست خاضعة لمعادلة ماكسويل؟ الا تحدد قيم كتلة الالكترون وشحنته بواسطة قياسات كهربائية؟ الجواب الذي يقرره العلم هو: نعم. واذا كان الامر كذلك فلماذا لا يخضع الالكترون داخل الذرة لقوانين الديناميكا الكهربائية التي تفرض عليه السقوط في النواة، وهو يتوفر على جميع الشروط التي تدفع به الى السقوط وفق نظرية ماكسويل التي لا يجوز الشك فيها؟.

تلك هي المشكلة التي واجهت العلماء في العقدين الاولين من هذا القرن، وقد عمدنا الى ابرازها والالحاح على التناقض الذي تطرحه ليلمس القارىء عن قرب طبيعة المعرفة العلمية، وكيفية بنائها، وبالتالي نوع «الوجود» الذي يمنحه العلم للكائنات التي يتعامل معها. انها مشكلة ايبستيمولوجية سنعالج بعض جوانبها من خلال نصوص هذا القسم.

كان نييل بور اكثر الفيزيائيين انشغالا ببنية الذرة وحركة الالكترون والمشاكل التي تطرحها هذه الحركة (السقوط، وعدم السقوط في النواة). وبعد بحث ودراسة ادلى بمسلمتين تنقذان الالكترون من السقوط:

– تقول المسلمة الاولى: توجد في الذرة مدارات اذا سار فيها الالكترون كف عن اطلاق امواج كهرطيسية، مما يجعل الالكترون في «**حالة قارة**». ومن هنا ذلك المصطلح الاساسي في نظرية بور، مصطلح «الحالات القارة»[1] Les etats stationnaires وبامكاننا تسميتها بـ«المحطات المدارية».

– وتقول المسلمة الثانية: لا يصدر الالكترون امواجا كهرطيسية الا عندما يقفز من «محطة مدارية» الى أخرى. (اي عندما تتغير قيم المحددات التي تضبط موقعه وحركته داخل منظومة معينة). وهو لا يقفز من محطة الى اخرى الا اذا استثير، فلكي يقوم بقفزة لا بد من كوانتوم الطاقة.

---

(1) «حالة» الجسيم في الاصطلاح الذري هي – بالتقريب – الوضعية التي يوجد فيها داخل منظومة معينة، من حيث الموقع والحركة. وبما ان الالكترون دائم الحركة، فلا يمكن الحديث عن موقعه دون اعتبار حركته، فموقع الالكترون وحركته في المنظومة الذرية يعبر عنهما بـ«حالته».

ولتوضيح مدلول هاتين المسلمتين نأخذ ذرة الهيدروجين كمثال، وهي كما نعرف مكونة من نواة ذات بروتون واحد شحنته موجبة، والكترون واحد ذي شحنة سالبة يدور حول النواة. هناك مدارات محددة واقعة على مسافات مختلفة من النواة، تتشكل المدارات الممكنة للالكترون. وعندما يوجد الالكترون في واحدة منها (وهذا مجرد كلام، لان الالكترون يمكن ان يوجد فيها جميعا في آن واحد كما سنرى) نقول عنه انه في حالة قارة. ويمكننا تعيين هذه المدارات بترقيمها ابتداء من النواة بالاعداد الصحيحة 1, 2, 3, 4....

في الحالة العادية يقع الالكترون في المحطة الاولى ولكي ينتقل منها الى المحطة الثانية لا بد من تزويده بقدر معين من الطاقة، هو الكوانتوم، اي لا بد من طاقة اضافية تمكنه من القفز من الحالة الاولى الى الثانية.

وعندما يعود الالكترون الى وضعه الاول، اي عندما يرجع الى الحالة الاولى تطلق الذرة نفس الكمية من الطاقة على شكل اشعاع ضوئي. وهكذا فعندما يكون الالكترون في المحطة المدارية الاولى - القريبة من النواة - حيث يساوي عدده الكوانتي الواحد الصحيح، نقول انه في **الحالة الاساسية**، وعندما يكون عدده الكوانتي اكبر من الواحد الصحيح نقول عنه انه في **حالة مستثارة**. وقد تمكن بور من صياغة المعادلة الرياضية التي تضبط قيم الطاقة التي لا بد منها لنقل الالكترون عبر المحطات المدارية تلك، وقيم الطاقة الاشعاعية التي يطلقها عند عودته القهقرى الى المحطة الاولى. ويستفاد من هذه المعادلة ان الالكترون عندما يكون في الحالة الاساسية، اي عندما يكون عدده الكوانتي يساوي الواحد الصحيح، تكون ذرة الهيدروجين ذات شعاع (= نصف قطر الدائرة) يساوي 0,53 × $10^{-8}$ سنتيمتر. او 0,53 انجسترون(1)، وبالتالي يكون قطرها مساويا لـ 1,06. الجسترون، وهو نفس الطول الذي قدر به قطرها بواسطة النظرية الحركية للغازات.

وواضح ان هذا التوافق بين تقدير بور لقطر ذرة الهيدروجين، والتقدير السابق له، يعزز فرضية بور ويزكيها. هذا بالاضافة الى تمكن بور من ادخال كوانتوم الطاقة - الذي اكتشف في اطار نظرية الاشعاع الحراري (الجسم الاسود) - الى الذرة واتخاذه اساسا لقياس ابعادها وتوقع تواتر الاشعاع الذي تطلقه في وقت لم يكن في الكوانتوم مرتبطا بأي شكل مع الذرة او مع الاشعاع الصادر منها. ولا شك ان الفضل في هذا يرجع الى ايمانه بوحدة قوانين الطبيعة، وهو نفس الايمان الذي دفع اينشتين الى انشاء نظريته النسبية المعممة.

ومع ذلك فلقد بقيت فرضية بور مجرد فرضية صالحة كمنطلق للبحث. ولم يكن من

---

(1) الانجسترون، Angströn وحدة للقياس تحمل اسم العالم السويدي الذي قال بها أول مرة. وتساوي جزءاً واحدا من عشرة آلاف جزء من الميكرون MICRON الذي يساوي بدوره جزءا واحدا من عشرة آلاف جزء من السنتيمتر. فالانجسترون اذن تساوي جزءا واحدا من عشرة ملايين جزء من الميلمتر. (= حاصل قسمة الملمتر على 10 ملايين، او قسمة السنتيمتر على مائة مليون). هذا ويرمز للانجسترون بالحرف Å، وللميكرون بالحرف u.

الممكن تحويلها الى «حقيقة علمية» الا بعد تأكيدها بالتجربة، اي بعد ان تتأكد النتائج المستخلصة منها تأكيدا تجريبيا. ولقد كان نجاح فرضية بور في القاء مزيد من الضوء على قوانين اخرى كانت قد اكتشفت في الميدان الذري ذاته، حافزا لعلماء آخرين للمضي قدما في طريق اكتناه اسرار الذرة. وكان سوميرفلد Sommerfeld (1868-1951) على رأس اولئك الذين عملوا على تطوير نظرية بور، مقترحا ما يلي: اذا كانت الذرة تشبه فعلا المنظومة الشمسية، فيجب ان تكون مدارات الالكترون، مدارات **اهليلجية** لا مدارات دائرية. وبالتالي فإن نواة الذرة يجب ان توجد في احد مركزي الاهليلج، وفقا لنظرية كبلر الفلكية[1]. وهكذا عدل سوميرفيلد نظرية بور مستعينا بنظرية النسبية في حساب طاقة الالكترون عند انتقاله من مدار اهليلجي الى آخر. وقد تمكن علماء آخرون بواسطة التجارب، من تأكيد صحة فرضية بور حول «الحالات القارة» والقفزات الكوانتية الخاصة بالالكترون. فلقد تبين بالفعل ان هذا الاخير لا يستطيع الانتقال من حالة قارة الى حالة قارة اخرى الا بواسطة طفرة.

واذن فلقد تعزز التصور الفلكي لبنية الذرة، وقدمت نظرية بور امكانيات كبيرة للبحث قصد حل المشاكل المعلقة، وفي مقدمتها المشكلة التي ابرزناها من قبل، التي تتلخص في السؤال التالي: لماذا لا يسقط الالكترون في نواة الذرة وفق ما تقتضيه الديناميكية الكهربائية؟.

ان الجواب عن هذا السؤال سيقدمه العالم الالماني الشاب هيزنبرع الذي استدعاه بور للعمل معه في كوبنهاجن، والذي اسس، كما اشرنا الى ذلك قبل، الميكانيكا الكوانتية.

بعد ستة أشهر قضاها هيزنبرغ في بحث متواصل مع بور وزملائه، شعر بالتعب فقرر اخذ عطلة. وكان ذلك في شهر جوان من سنة 1925. وبينما هو في عطلته يحاول نسيان الالكترون وحركته اذا بفكرة تنبثق في ذهنه، فكرة مؤداها انه من الحمق اعتبار حركة الالكترون داخل الذرة كحركة كرة صغيرة تجري حول مدار ما. ذلك لان الالكترون هو من التعقيد والصغر بحيث يستحيل تطبيق قوانين الميكانيكا الكلاسيكية على حركته. ان المعادلات التي يحاول العلماء تطبيقها على الالكترون تخص حركة الاجسام الكبيرة القابلة للقياس تجريبيا. وبما ان التجربة - وهذا هو الواقع - تؤكد ان الذرة متوازية، وانها تتألف من نواة تدور حولها الالكترونات، وان هذه تطلق مقدارا معينا من الطاقة عندما

---

(1) تنص قوانين كيلر (1571-1630) على ما يلي:

«ترسم الكواكب في حركتها اشكالا اهليلجية (بيضوية) تحتل الشمس احد مركزيها» (تشمل الدائرة على مركز واحد، والشكل البيضوي على مركزين).

«الشعاع الفيكتوري الذي يربط كوكبا ما بالشمس يغطي مساحات متساوية في أزمنة متساوية».

«مربع الزمن يقضيه الكوكب في الدوران حول مداره متناسب مع مكعب متوسط المسافة التي تفصله عن الشمس».

تستثار، اي عندما نحاول اخراجها من حالتها والمتوازية، فانه ليس من الضروري ان يوجد الالكترون عند انتقاله من حالة قارة الى اخرى، في هاتين الحالتين معا. بمعنى ان طبيعته الخالصة تفرض علينا اعتباره لا كجسم ينتقل من مكان الى آخر، بل كـ «شيء» يمكن ان يوجد في نفس الوقت في امكنة مختلفة، وبالتالي فلا يمكن ان يوجد بين محطتين مداريتين قارتين، لان وجوده بينهما يتنافى مع طبيعته الخاصة. (المشكلة التي تطرحها نظرية بور تنحصر كلها في: ماذا يحصل عندما يكون الالكترون بين محطتين مداريتين). بعبارة اخرى لا يمكن ان يتخذ الالكترون لنفسه مسارا متصلا عند انتقاله من مدار قار الى مدار آخر مماثل، لان مسارا كهذا لا يوجد في الذرة. واذن، فبدلا من المسار المتصل يجب البحث عن مسار آخر (منفصل) ينسجم مع الاعداد الكوانتية للحالة الابتدائية والحالة النهائية للالكترون.

ولبيان ذلك نورد المثال التالي: فلو فرضنا ان ذبابة تنتقل على رقعة شطرنج من مربع الى آخر، فانه بالامكان ايضا التعرف على خط سير الذبابة على الرقعة المذكورة - ولتكن لا نهائية المربعات - من خلال النظرة الى كل مربع من المربعات التي وجدت فيها الذبابة، كلا على حدة، بحيث يكون مسار الذبابة مشتملا على عدد ما من الاعداد الكوانتية التي تتوقف قيمتها على موقع كل مربع في الرقعة. **ان الموقع هنا يحدد قيمة الاعداد الكوانتية**. وهذا شيء مخالف لما تعودنا عليه، فالمعادلة التالية: 2 + 3 = 5 هي نفسها عندما نغير موقع العددين 2 و3 ونكتب: 3 + 2 = 5. فموقع الرقم 2، والرقم 3 في الطرف الأول من المعادلة لا يغير شيئا في النتيجة ولكن هذا لا يصلح لتحديد قيم الاعداد الكوانتية التي للالكترون ما دام الموقع يغير من النتيجة، فلا بد اذن من نوع آخر من الحساب تراعى فيه مواقع الحدود في المعادلة الجبرية (اي موقع المربعات داخل رقعة الشطرنج) ومن حسن الحظ ان الرياضيين كانوا قد شيدوا فعلا صرح نوع جديد من الحساب سموه الحساب الماتريسي - او حساب المصفوفات - Calcul des matrices تراعى فيه مواقع الحدود في اية معادلة او عملية حسابية، مراعاة تجعل النتيجة تختلف باختلاف مواقع الحدود في المعادلة. وهكذا ففي هذا النوع من الحساب لا يمكن القول ان 2 × 3 تساوي 3 × 2، لان تبادل المواقع بين العددين 2، 3 يغير النتيجة.

ادخل هيزنبرغ حساب المصفوفات في ميدان الذرة، بعد ان كان مجرد «شطحات» رياضية، **فتمكن من صياغة المعادلة التي «تضبط» حركة الالكترون في الذرة، متصورا هذه الحركة، لا على انها عبارة عن انتقال الالكترون من مدار ما حول النواة الى مدار آخر، بل بوصفها تغييرا وتعديلا لحالة المنظومة الذرية في الزمن، تغييرا تضبطه الماتريسات**. وعليه فان مشكلة احتفاظ الذرة على توازنها واستقرارها (وبالتالي عدم سقوط الالكترون في النواة) تصبح مشكلة غير ذات موضوع. ذلك لان الالكترون عندما يكون في ذرة غير مستثارة، يبقى حسب هذا التصور الجديد لنوعية حركته، ساكنا، وبالتالي فهو لا يصدر اية طاقة. اما عندما «ينتقل» من محطة مدارية الى أخرى، اي

عندما تتغير حالة المنظومة الذرية في الزمن، فانه من الممكن «ضبط» هذا التغير، بطريقة احتمالية، اي بواسطة معادلة خاصة، هي معادلة علاقات الارتياب.

ب - علاقات الارتياب.

تنص علاقات الارتياب Les relations d'inertitude او علاقات عدم التحديد - التي صاغها هيزنبرغ على انه لا يمكن تحديد موقع الالكترون وسرعته في آن واحد. وهي كما يلي:

$$\triangle م \times \triangle س \geqslant هـ.$$

حيث تشير «م» الى الموقع، و«س» الى السرعة (وبتعبير اصح: كمية الحركة وهي الكتلة مضروبة في السرعة)، اما «هـ» فهي ثابت بلانك، وعلى هذا فإن الخطأ في تحديد الموقع مضروبا في الخطأ في تحديد السرعة يساوي، او اكبر من ثابت بلانك. وبما ان «هـ» عدد ثابت (قيمته تساوي $6{,}626 \times 10^{-27}$ من القياس السغثي: سنتمتر، غرام، ثانية) فإن أي تدقيق من شأنه ان يقلل من الخطأ في تحديد الموقع (△م) سيؤدي بالضرورة الى زيادة الخطأ في تحديد السرعة (△س) والعكس صحيح ايضا.

لماذا هذا الخطأ؟.

عندما نريد ضبط موقع الالكترون لا بد من ان نسلط عليه شعاعا ضوئيا، اي لا بد من ان نقذفه بقوة، وهو حبة من الطاقة كما رأينا قبل. ونحن نعرف انه عندما يصطدم الفوتون بالالكترون يأخذ منه هذا الأخير قسطا من طاقته يضيفها الى نفسه فتزداد سرعته فيلتبس علينا موقعه ويشبه الفيزيائي الفرنسي ديتوش Destouche هذه الظاهرة بقطة محصورة في قبو مظلم تخاف من الضوء وتهرب منه. وهكذا فعندما نريد تحديد موقعها في القبو نكون مضطرين الى النظر اليها من خلال ثقب صغير نرسل منه بعض الضوء. ولكن بما انها تخاف الضوء وتهرب منه، فانها تفر بمجرد ان تراه، الشيء الذي يجعل من المستحيل علينا تحديد موقعها بالضبط. وكل ما يمكننا قوله هو انها توجد في القبو. وفي هذه الحالة يكون من المحتمل ان توجد في كل نقطة من نقاط القبو، تماما كالالكترون الذي يبقى وجوده في هذا المدار او ذاك او فيها جميعا محتملاً جدا.

ان علاقات الارتياب هذه تطرح بحدة مشكلة الحتمية في العلم. فالحتمية العلمية تقوم كلها على الاعتقاد في امكانية توقع موقع الجسم اذا عرفت سرعته. وبما ان هذا التوقع اصبح مستحيلا في الفيزياء الذرية، فالتصور الكلاسيكي للحتمية ينهار تماما ليحل محله الاحتمال. وتلك مشكلة سنعالجها بايجاز في فقرة لاحقة، وبتفصيل في النصوص.

اما الآن فعلينا ان نزيد مسألة حركة الالكترون وضوحا، وذلك بالعودة الى الميكانيكا الموجية التي اسسها دوبروي والمقارنة بينها وبين ميكانيكا الكوانتا لهيزنبرغ.

## 8 - توافق الميكانيكا الموجية والميكانيكا الكوانتية.

رأينا قبل، كيف استطاع لوي دوبروي الجمع بين المظهرين الجسيمي والموجي في الشعاع الضوئي، وكيف انه عمم نظريته، بعد ذلك، مؤسسا الميكانيكا الموجية. ونريد الآن ان نشرح كيف طبق دوبروي نظريته هذه على حركة الالكترون في الذرة حول النواة.

الالكترون حسب نظرية دوبروي عبارة عن حبة كهربائية مصحوبة بموجة، مثله مثل الفوتون وباقي الجسيمات الذرية. ومعنى ذلك انه يدور حول النواة بوصفه حبة وموجة في آن واحد. وقد تتضح لنا نوعية حركة الالكترون حول النواة اذا لجأنا الى التشبيه التالي:

لنفرض انك نقرت بأصبعك على وتر من اوتار العود (الالة الموسيقية المعروفة) لا شك ان الوتر سيهتز محدثا موجات تسري في الهواء، هي الموجات الصوتية التي تترجم في آذاننا الى اهتزازات معينة تنتقل الى الدماغ الذي يترجمها الى أصوات. لنتخيل ان المحطات المدارية التي يتواجد فيها الالكترون حول النواة هي هذه الامواج والذبذبات التي تحدث بالنقر على الوتر. ان الالكترون بوصفه موجة سينتشر على طول المدار مثلما تنتشر موجة النقر او ذبذبته على طول الوتر، وبين الاوتار الاخرى.

وانطلاقا من هذا التصور الذي يوحي به هذا التشبيه استطاع دوبروي ان يعبر عن نظرية نييل بور حول «الحالات القارة» تعبيرا جديدا اكثر خصوبة ومعقولية: فالحالة القارة (او المحطة المدارية بتعبيرنا) هي عبارة عن المسار الذي تتخذ فيه موجة الالكترون عدد كوانتا صحيحا. وبما ان هناك عدة حالات ممكنة يمكن ان يقع فيها الالكترون في آن واحد (قارن موجات وتر العود) فانه يغدو من المستحيل الجزم بوجود الالكترون في محطة مدارية بعينها. بل هناك دوما احتمال وجوده في حالتين او اكثر (وبالنسبة لبعض الذرات الثقيلة هناك احتمال لوجود الالكترون داخل النواة نفسها، ويقال حينئذ ان النواة تأسر الالكترون). والنتيجة من ذلك كله هو انه من غير الممكن قط ظهور الالكترون بين المحطات المدارية، لان «حالة» ما بين المدارات لا تنتمي الى الحالات الممكنة او المحتملة للالكترون.

ويعطي دوبروي لكل حالة من الحالات الممكنة للالكترون دالة موجية خاصة تعرف بدالة بسي $\psi$ (اسم الحرف اليوناني المرسوم) وهي التعبير الرياضي عن الموجة التي تصحب الالكترون دوما. وبما ان للالكترون عدة حالات ممكنة، فان له تبعا لذلك عددا مقابلا من الدوال الذاتية الخاصة به: $\psi_1$، $\psi_2$، $\psi_3$، $\psi_4$.. وهي تختلف فيما بينها بعدد كوانتي واحد على الاقل.

هذا عن حالات تراكب الالكترون الممكنة او المحتملة، اما حالته الفعلية فانها تتكون من تراكب (اي مجموع) حالاته الذاتية التي يؤخذ كل منها حسب احتمالها. وهكذا فالحالة الفعلية $\psi$ للالكترون تكتب كما يلي:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 + \psi_3 + \psi_4 \ldots$$

ومن هنا يتضح ان الالكترون في الذرة شبيه بسائح موزع على عدة حالات بشكل غير منتظم. فلا يمكن تحديد **موقعه**، وبعبارة اصح **لا يمكن تحديد حالة واحدة بعينها يكون فيها دون غيرها**، وانما يمكن احتمال وجوده في بعض الحالات بدرجات اكبر نسبيا من احتمال وجوده في حالات اخرى. ان «توزع» الالكترون في عدة حالات لا يعني انه مقسم الى أجزاء، كل جزء منها في حالة واحدة، معينة، كلا. ان ذلك يعني انه يوجد بأكمله في حالة واحدة بعينها، ولكن احتمال وجوده في هذه الحالة او تلك، هو الذي يجعله وكأنه موزع بين هذه الحالات المحتمل وجوده فيها. (فالوجود هنا، وجود معرفي، لا انطولوجي).

هكذا يلتقي دوبروي مع هيزنبرغ في القول بعدم امكانية تحديد الالكترون اي ضبط موقعه وسرعته في آن واحد، لان الالكترون لا يتصف بخصائص جسيمية فقط، ولكن ايضا بخصائص موجية. وقد حدد دوبروي موجة الالكترون كما يلي:

$$\lambda = \frac{هـ}{ك\,س} \quad \text{أو} \quad = \frac{هـ}{ح}$$

حيث يرمز الحرف اليوناني $\lambda$ الى موجة الالكترون، والحرف كـ الى كتلته، والحرف س الى سرعته (وحاصل ضرب الكتلة في السرعة يعبر عن كمية الحركة ح). وبالنظر إلى هذه المعادلة يتضح انه من المستحيل تحديد موقع الالكترون اي احداثيه على محور السينات، وكمية حركته اي احداثيه على محور الصادات، في آن واحد، وانما يمكن ذلك بطريقة احتمالية حسب علاقات الارتياب لهيزنبرغ. ان **موقع الالكترون يعني هنا طول موجته**، وهو طول يتوقف كما يتضح من المعادلة السابقة على كتلته وسرعته. واذا تذكرنا ما تقوله نظرية النسبية من ان الكتلة تتغير مع السرعة، وعرفنا ان سرعة الالكترون من السرعات المقاربة لسرعة الضوء، أدركنا مدى صعوبة، بل استحالة، تحديد موقعه وسرعته في آن واحد، وكلاهما تتحكم فيهما العلاقة بين الكتلة والسرعة حسب نظرية النسبية. اضف الى ذلك ان حاصل ضرب عدم تحديد الموقع ($\Delta$م) في عدم تحديد السرعة ($\Delta$س) لا يمكن ان يقل عن «هـ» (ثابت بلانك)، لان كوانتوم العمل لا يمكن ان يفتت الى اجزاء، فهو وحدة منفصلة لا تقبل التجزئة.

يتضح لنا مما تقدم التوافق التام بين الميكانيكا الموجية والميكانيكا الكوانتية. انهما في الحقيقة وجهان لعملة واحدة. وهذا ما اثبته شروندجر بعد مقارنتهما مقارنة دقيقة. لقد

اثبت انها متوافقان تعزز الواحدة منهما الاخرى، مما حدا بأحد العلماء الى تشبيه دوبروي وهيزنبرغ برجلين اكتشفا معا القارة الامريكية ولكن احدهما انطلق اليها من المحيط الاطلسي، والثاني من المحيط الهادىء. ان في ذلك لدليل آخر على وحدة قوانين الطبيعة.

## 9 - بعض النتائج الايبستيمولوجية للثورة الكوانتية[1]

لعل ابرز العلماء الذين اسرعوا الى اتخاذ مكتشفات العلم في ميدان الميكروفيزياء منطلقا لنظرية «جديدة» في المعرفة، العالم الفيزيائي نيبل بور، الذي تحدثنا عنه قبل. لقد اسس هذا العالم مدرسة ايبستيمولوجية، تعرف بمدرسة كوبنهاجن، وهي ذات اتجاه وضعي واضح، تختلف عن المدرسة الفرنسية (ومن اقطابها دوبروي) اختلافا كبيرا، من حيث ان هذه الاخيرة تتشبث بالتقليد العقلاني الفرنسي، وبالتالي لا تنساق مع رؤى الوضعية الجديدة انسياقا تاما.

يرى بور ان الدرس الاساسي الذي يجب استخلاصه من الفيزياء الذرية هو ان مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية مفاهيم محددة بحدود ظواهر العالم الماكروسكوبي. وبالتالي فهي لا تنطبق على الميدان الذري. ولذلك يجب تعديلها حتى نتمكن من فهم ما يجري في الميدان الميكروفيزيائي.

وهكذا فما كنا نعده تناقضا في عالمنا العياني الذي نعيش فيه، يظهر لنا في الميدان الذري على انه تكامل، ومن هنا نظريته التكاملية La complémentarité فالمظهر الموجي والمظهر الجسيمي في الضوء، متكاملان، وغير متناقضين. انهما كسفحي جبل، يخفي احدهما الآخر ولا ينفيه. واذا كان من غير الممكن رؤية احدهما ونحن في الآخر، فان الارتفاع الى قمة الجبل يمكننا من مشاهدتهما معا، وحينئذ يظهران متكاملين يعبران عن حقيقة واحدة، هي ما ندعوه الجبل. يقول بور «ان مفهوم التكامل يقتضي منا اعطاء نفس الدرجة من الواقعية للمظهر الجسيمي والمظهر الموجي، والاعتراف صراحة بأننا نجد انفسنا دوما امام احدهما فقط دون الآخر، حينما نقوم بالتجارب، وانه لا يمكن الحصول عليهما معا في آن واحد».

على ان بور قد ذهب في هذا مذهبا قصيا، فعمم نظريته التكاملية هذه على ظواهر اخرى لا تنتمي الى عالم الميكروفيزياء، ظواهر بيولوجية وسيكولوجية واجتماعية على المستوى البشري المعتاد، مؤكدا ان «الدرس الفلسفي الذي تقدمه لنا الفيزياء الحديثة... يمكنه ان يوحي لنا بوسائل جديدة تمكننا من دراسة ميادين اخرى هي في حقيقتها اكثر تداخلا واشتباكا وتعقيدا». مثل الميدان البيولوجي والميدان السيكولوجي والميدان

(1) سنعالج في النصوص اهم هذه النتائج بأقلام كبار العلماء انفسهم. ولذلك يجب النظر الى هذه الفقرة كمجرد تمهيد فقط للنصوص المقبلة.

الاجتماعي والتاريخي.(1).

على ان اكثر المسائل التي دار حولها نقاش عريض واسع عقب الكشوف العلمية التي تحدثنا عنها، وخاصة منها كوانتوم الطاقة وعلاقات الارتياب، هي مشكلة الحتمية. وكما اشرنا الى ذلك قبل، فالحتمية التي طالما تغنى بها العلم والعلماء انقلبت مع علاقات الارتياب الى «**لا حتمية**».

يقول بور: ان مسلمة الكوانتا تمنعنا من تفسير الظواهر الذرية تفسيرا يعتمد في آن واحد السببية والعلاقات الزمانية - المكانية. ذلك لاننا عندما نفسر الظواهر العادية نفترض مسبقا ان ملاحظة الظاهرة - اي قياسها التجريبي - لا تؤثر في الظاهرة موضوع الملاحظة هذا في حين ان المسلمة الكوانتية تتطلب منا الاقتناع بأن كل ملاحظة للظواهر الذرية تؤدي الى تدخل آلة القياس في الظاهرة نفسها تدخلا يؤثر تأثيرا واضحا. وبالتالي لا يمكن ان نعطي لا للآلة، ولا للظاهرة واقعا فيزيائيا مستقلا بذاته(2).

وهنا تطرح مشكلة الذاتية والموضوعية في المعرفة العلمية، وهي التي كانت تتميز عن المعرفة الفلسفية بالموضوعية. فاذا كنا في الفيزياء الكلاسيكية نلاحظ ان ادوات القياس لا تؤثر في الموضوع الذي نقيسه (قياس هذه الطاولة لا يغير منها شيئا) فان الامر ليس كذلك في عالم الميكروفيزياء. ان ادوات القياس تؤثر بشكل واضح في الموضوع نفسه (قارن هذا بما قلناه بصدد علاقات الارتياب)، وبالتالي فان الذات (القياس) والموضوع (ما يقاس) يتعاونان بالضرورة على صنع الشيء الخارجي. فالجسم اذن هو مزيج من الذاتية والموضوعية، وبالتالي فان العالم الخارجي شارك الذات في صنعه (ومن هنا المسحة المثالية التي ترافق الوضعية الجديدة).

وترتبط المشكلة التي نحن بصددها بقضية الزمان والمكان. ان استحالة تحديد موقع الجسم (المكان) وسرعته (الزمان) في آن واحد يطرح من جديد مشكلة العلاقة بين الزمان والمكان، طرحا يختلف عن الشكل الذي طرحتها به نظرية النسبية.

ففي نظرية النسبية كنّا نتحدث عن زمان الملاحظ (الزمان الخاص) ومكانه (منظومته المرجعية)، وبعبارة اخرى كنا نربط الزمان والمكان بالشخص الملاحظ، اما هنا في النظرية الكوانتية فاننا نتحدث عن زمان ومكان الجسيم، اي الموضوع. وكما قال بياجي: في نظرية النسبية، اي في مجال العالم الاكبر تندمج الذات في الظواهر موضوع القياس، اما في نظرية الكوانتا، اي في مجال العالم الاصغر، فيحصل العكس، ان الظاهرة هنا هي التي تندمج في عمل الذات، في قياساتها وادوات هذا القياس(1).

(1) انظر في قسم النصوص نصا لبور في هذا الشأن.

(2) انظر قسم النصوص، حيث ادرجنا نصا لدوبروي في الموضوع.

(1) Jean Piaget: Introduction à l'epistemologie genetique T. II. La physique P.219. P.U.F. Paris 1974.

كل هذه المسائل تطرح مشاكل اخطر واعم: النظرية الفيزيائية وحدودها، الحقيقة العلمية وطبيعتها، دور كل من العقل والتجربة في بناء المعرفة العلمية. الى غير ذلك من القضايا الايبستيمولوجية التي آثرنا ترك الحديث عنها في قسم النصوص للمختصين أنفسهم.

# القسم الثالث

# النصوص

# مطلقات نيوتن(1)

## نيوتن

بنى نيوتن ميكانيكاه على مطلقات ثلاثة: الزمان المطلق والمكان المطلق والحركة المطلقة، وذلك في مقابل الزمان النسبي والمكان النسبي والحركة النسبية، ان حركة الشخص الذي يمشي على ظهر سفينة تجري في البحر حركة نسبية، اما حركة الارض في الاثير (الساكن) فحركة مطلقة اذن هناك نوعان من الحركة: حركة الاجسام بالنسبة لبعضها بعضا، (وهي نسبية) وحركة الاجسام السماوية في الاثير الساكن (وهي مطلقة) والتمييز بين الحركة المطلقة والحركة النسبية يؤدي الى التمييز بين الزمان المطلق والزمان النسبي والمكان المطلق والمكان النسبي لان الحركة لا تتصور الا في زمان ومكان وكذلك الشأن بالنسبة للمحل اي الحيز الذي يشغله الجسم من المكان. واذن فالمكان والزمان، حسب نيوتن اطاران واقعيان مطلقان مستقلان عن الاشياء التي توجد فيهما والحوادث التي تجري فيهما. والزمان الذي يرمز اليه بحرف «ز» في المعادلات الميكانيكية هو هذا الزمان المطلق الذي ينساب بشكل منتظم، فلكي يدخل الزمان «ز» كمتغير وسيطي (برامتر) في المعادلات يجب ان يكون مطلقا وإلا فكيف يمكن ان تحدد قيمه قيم المتغيرات الاخرى؟.

ذلك هو الاساس الذي قامت عليه الفيزياء الكلاسيكية كلها. ونيوتن لا يبرهن على وجود الزمان المطلق والمكان المطلق بل يفترضهما افتراضا ويضفي عليهما خصائص معينة، ولكنه يحاول البرهنة على الحركة المطلقة بواسطة القوة النابذة **La force centrifuge** كما يشرح ذلك في هذا النص بمثال الاناء المعلق في حبل. والقول بالزمان المطلق يقتضي القول بالتآني اي بتزامن الحوادث، اي بوجود زمان واحد بالنسبة لجميع الملاحظين الذين يراقبون جسما متحركا، وهذا ما اثبتت نظرية النسبية عدم صحته. كما ان القول بالحركة

(1) NEWTON: Principes mathématiques de la Philosophie *naturelle trad* de Mme du châtelet t. 1. PP 8-14.

المطلقة يستلزم القول بالمكان المطلق اي الاثير. وكانت تجربة ميكلسن ومورلي الرامية الى قياس الحركة المطلقة للارض بالنسبة للاثير الساكن، والنتائج السلبية التي اسفرت عنها هذه التجربة، نقطة انطلاق نظرية النسبية كما شرحنا ذلك في الفصل قبل الاخير.

---

« ... الزمان والمكان والحيز والحركة مفاهيم يعرفها الناس جميعا، فلا حاجة بنا الى تعريفها، ولكن علينا ان نلاحظ ان الناس، عادة لا يتصورون هذه المقادير الا من خلال علاقاتها بالاشياء الحسية، مما ينتج عنه عدد من الاحكام المسبقة، يتطلب تبديدها التمييز في هذه المقادير بين ما هو مطلق وما هو نسبي، بين ما هو حقيقي، وما هو ظاهري، بين ما هو رياضي وما هو عامي.

الزمان المطلق، الحقيقي والرياضي، الذي لا علاقة له بأي شيء خارجي، ينساب بانتظام ويسمى الديمومة. اما الزمان النسبي، الظاهري العامي، فهو هذا المقدار الحسي الخارجي، الساعة واليوم والشهر والسنة، الذي نستعمله عادة لقياس جزء من الديمومة بواسطة الحركة، والذي يكون دقيقا تارة وتقريبيا تارة اخرى.

والمكان المطلق الذي لا علاقة له بأي شيء من الاشياء الخارجية الحسية هو بطبيعته ساكن متجانس دوما. اما المكان النسبي فهو هذا المقدار المتغير، او المسافة التي قد تطول او قد تقصر، والتي نقيس بها المكان المطلق، والتي تحددها حواسنا بناء على موقعها من الاجسام والعوام من الناس يخلطون بينها وبين المكان الثابت. وهكذا يحدد الناس عادة المكان العلوي، في الجو او في السماء، بناء الى موقعه من الارض. ولا يختلف المكان المطلق والمكان النسبي في طبيعتها او مقدارهما، فهما من هذه الناحية متطابقان. ولكنهما ليسا كذلك دوما من حيث العدد. ذلك لانه اذا تحركت الارض مثلا، فان المكان الذي يشغله الهواء المحيط بنا والذي يبقى دوما هو هو بالنسبة للارض، يكون تارة جزءا من المكان المطلق الذي يخترقه الهواء، وتارة جزءا آخر. وهكذا يتغير موقعه في المكان المطلق بدون انقطاع.

وأما الحيز (او المحل) Lieu فهو ذلك الجزء من المكان، الذي يشغله الجسم. وهو، بالنسبة للمكان، اما مطلق واما نسبي. وأعود فأؤكد ان الحيز هو جزء من المكان. فليس المقصود منه موضع الجسم ولا المساحة المحيطة به. ذلك لانه عندما يكون الجسمان متساويين يكون الحيز الذي يشغله احدهما مساويا دوما للحيز الذي يشغله الآخر، ولكن مساحة احدهما تختلف في الغالب عن مساحة الآخر، فتكون اكبر او اصغر، تبعا لاختلاف شكلهما. كما ان موضعيهما ليسا مقدارين كميين، بمعنى الكلمة، وليسا بالاحرى حيزين، بل هما محددان كيفيان للحيزين. ان حركة الكل هي نفس حركة مجموع اجزائه، فانتقال الكل الى خارج حيزه هو مجموع انتقال اجزائه الى خارج حيزها، فحيز الكل هو

نفس حيز مجموع اجزائه، فهو اذن داخل في الجسم ومندرج تحت كلية هذا الجسم.

اما الحركة المطلقة فهي انتقال الجسم من حيز مطلق الى حيز آخر مطلق. والحركة النسبية هي انتقال من حيز نسبي الى حيز آخر نسبي. وهكذا فالحيز النسبي لجسم موجود فوق سفينة يدفعها الريح بسرعة هو ذلك الموضع الذي يشغله الجسم على السفينة، او هو هذا الجزء من الحجم الكلي للسفينة الذي يشغله الجسم ويتحرك بحركتها. اما السكون النسبي فهو دوام هذا الجسم في نفس الموضع الذي يحتله في السفينة او في ذلك الجزء الذي يشغله من حجمها الكلي وأما السكون الحقيقي فهو دوام الجسم في نفس الجزء من المكان الساكن الذي تتحرك فيه السفينة ككل: حجمها والاشياء الموجودة عليها. ومن هنا يتضح انه عندما تكون الارض في حالة سكون حقيقي فان الجسم الذي يكون داخل السفينة في حالة سكون حقيقي فان الجسم الذي يكون داخل السفينة في حالة سكون نسبي سيصبح في حالة حركة حقيقية مطلقة تكون سرعتها هي نفس السرعة التي تتحرك بها السفينة على الارض. اما عندما تتحرك الارض بدورها، فان هذا الجسم سيصبح في حالة حركة حقيقية ومطلقة ترجع في جزء منها الى حركة الارض حركة حقيقية في المكان الثابت، وفي جزء آخر منها الى الحركات النسبية، سواء منها حركات السفينة فوق الارض او حركات الاجسام فوق السفينة، ومن هذه الحركات تنشأ الحركة النسبية للجسم على الارض. وهكذا، فاذا كان الجزء من الارض الذي تتحرك فيه السفينة، يتحرك هو نفسه حركة حقيقية نحو الشرق وبسرعة **10.010** وحدة مثلا، وكانت الرياح تدفع السفينة نحو الغرب بسرعة **10** وحدات، وكان ربانها يمشي على ظهرها متجها نحو الشرق بسرعة **1** (وحدة واحدة)، فان هذا الاخير، سيكون ذا حركة حقيقية مطلقة في المكان الثابت، سرعتها تساوي **10.001** وحدة في اتجاه الشرق، وذا حركة نسبية على الارض سرعتها **9** وحدات في اتجاه الغرب.

وفي علم الفلك، يميز بين الزمان المطلق والزمان النسبي بواسطة «معادلة» الزمان العامي. والواقع ان الايام الطبيعية ليست متساوية ولكن جرت العادة على اعتبارها متساوية حتى يتأتى للناس قياس الزمن. اما علماء الفلك فهم يصححون هذا الاختلاف بين الايام، حتى يتمكنوا من قياس الحركات السماوية بواسطة زمان اكثر دقة.

ومن الممكن ان لا تكون هناك اية حركة منتظمة من شأنها ان تساعد على قياس الزمان قياسا دقيقا، ذلك لان جميع الحركات معرضة للتسارع او التباطؤ، في حين ان انسياب الزمان المطلق انسياب لا يتغير لا يزيد ولا ينقص.

والديمومة، او دوام وجود الاشياء، تبقى هي هي، سواء كانت الحركات سريعة او بطيئة او كانت منعدمة، ولذلك يميز بينها، بحق وبين القياسات الحسية، وهذا التمييز يتم بواسطة المعادلة الفلكية....

ان ترتيب اجزاء المكان ترتيب ثابت مثله مثل ترتيب اجزاء الزمان. ذلك لأنه لو

أمكن لاجزاء المكان ان تغادر الحيز الذي تشغله فانها ستكون قد غادرت نفسها، اذا صح هذا التعبير. والواقع ان الازمنة والامكنة هي، بشكل ما، حيز لنفسها، وحيز لجميع الاشياء. ان الكون بأجمعه يحدد في الزمان حسب ترتيب التتابع ويحدد في المكان حيز (مكاني - زماني) تشغله الاشياء، ومن غير المعقول ان يكون هذا الحيز الاساسي متحركا. (ان الذي يتحرك هو الاشياء الموجودة فيه) واذن فالمكان والزمان حيزان مطلقان، ولا يمكن ان تكون هناك حركات مطلقة الا بالتحرك خارجهما.

ولكن بما ان اجزاء (المكان التي هي حيز للاشياء) لا يمكن ادراكها ولا تمييز بعضها عن بعض بواسطة حواسنا، فاننا نستعمل بدلها، مقادير حسية. وهكذا نحدد جميع الاحواز (جمع حوز بمعنى حيز)، على العموم بواسطة مواقع الاشياء وبعدها بالنسبة لجسم معين نعتبره ثابتا، ثم نأخذ في حساب الحركات بالارتكاز على هذه الاحواز التي حددناها قبل، ظانين ان الاجسام تتحرك بالنسبة لها فعلا. وهكذا نضع هذه الاحواز والحركات النسبية مكان الاحواز والحركات المطلقة. واذا كان هذا الاجراء يلائم حياتنا العادية، فانه لا بد في الفلسفة (اي الفيزياء) من التحرر من الحواس ومعطياتها، ذلك لانه قد لا يكون هناك جسم ساكن سكونا حقيقيا نتمكن، بالارتكاز عليه، من قياس الاحواز والحركات....

ان الاثار (او الظواهر) التي يمكن التمييز بواسطتها بين الحركة المطلقة والحركة النسبية هي تلك القوى التي تكتسبها الاجسام خلال دورانها، والتي تدفعها الى الابتعاد عن محور حركتها. ان هذه القوى تنعدم تماما عندما تكون الاجسام في حالة حركة دائرية نسبية، واما حينما تكون حركة الجسم حركة حقيقية مطلقة، فان القوى المذكورة تزداد او تنقص حسب كمية الحركة.

وهكذا، فاذا حركنا اناء معلقا على حبل، حركة دائرية متواصلة الى ان يصبح الحبل ملتويا، ثم ملأنا الاناء ماء وتركناه حتى يسكن تماما هو والماء الذي فيه، ثم أرخينا الحبل وتركناه يعود الى حالته الطبيعية، فان الاناء سيكتسب، بهذه الطريقة، حركة دائرية تدوم طويلا. وعند بداية حركة الاناء هذه نلاحظ ان الماء يظل هادئا وان سطحه يبقى مستويا، تماما كما كان قبل ارخاء الحبل المفتول. ولكن لن تمر سوى لحظة قصيرة حتى نلاحظ ان حركة الاناء تنتقل شيئا فشيئا الى الماء الذي فيه. وهكذا يأخذ الماء في الدوران مع الاناء، وبدورانه هذا يأخذ في الارتفاع على حاشية الاناء وكأنه يحاول الانفلات الى الخارج، الشيء الذي يجعل وسطه ينخفض فيصبح شكل الماء مقعرا، وهذا شيء لاحظته بنفسي. ثم تزداد حركة الماء ويزداد ارتفاعه على حاشية الاناء، ويستمر كذلك الى ان تصبح دورات الماء مساوية تماما لدورات الاناء، وحينئذ يكون الماء، بالنسبة للاناء، في حالة سكون نسبي. ان ارتفاع الماء حول حاشية الاناء يدل على وجود جهد يبذله الماء لكي يتمكن من الابتعاد عن مركز حركته. ويمكن ان

نقيس، بواسطة هذا الجهد، الحركة الدائرية الحقيقية المطلقة التي لهذا الاناء، تلك الحركة التي هي مناقضة تماما لحركته النسبية. ذلك لانه، في البداية، عندما كانت الحركة النسبية للماء اكبر، لم يكن هذا الماء يندفع ليبتعد عن محور حركته، ولم يكن يرتفع على حاشية الاناء، بل لقد ظل مستويا هادئا، وبالتالي لم تكن له بعد اية حركة دائرية حقيقية ومطلقة. ولكن عندما اخذت حركة الماء في النقصان، بدأ يرتفع نحو حاشية الاناء، مما يدل على ذلك الجهد الذي يبذله قصد الابتعاد عن محور حركته. ان هذا الجهد الذي يأخذ في الزيادة يدل بدوره على ازدياد حركة الماء، حركته الدائرية الحقيقية. واخيرا فان هذه الحركة الدائرية الحقيقية تبلغ اقصاها عندما يكون الماء في حالة سكون نسبي داخل الاناء. ان الجهد الذي يبذله الماء قصد الابتعاد عن محور حركته لا يتوقف اذن على حركته بالنسبة لما يحيط به من الاجسام، وبالتالي فان الحركة الدائرية الحقيقية لا يمكن تحديدها وضبطها بواسطة الحركة النسبية تلك».

# الحتمية الكونية [1]

## لابلاس

يعكس هذا النص، وهو مشهور جدا، الاعتقاد الراسخ في الحتمية الذي كان يوجه اقطاب الفيزياء الكلاسيكية. ولابلاس Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) صاحب هذا النص يعتبر من أقوى واعنف دعاة الحتمية، التي يجعلها تشمل الظواهر الطبيعية كلها صغيرها وكبيرها، ولذلك وصفت حتميته بـ«الحتمية الكونية». لقد ألف لابلاس كتابه المشهور «الميكانيكا السماوية» عرض فيه النظام الكوني النيوتوني عرضا اكثر تنظيما وكمالا، فجمع فيه كما يقول بلانشي بين صلابة العلم النيوتوني وغزارة العلم الديكارتي. لقد ادرجنا هذا النص، ليس فقط لقيمته التاريخية، بل ايضا لان المناقشات التي سنطلع عليها في النصوص المقبلة حول موضوع الحتمية لا تفهم الا على ضوء التصور الكلاسيكي للحتمية، وهو التصور الذي يعبر عنه هذا النص اقوى تعبير.

---

«ان جميع الحوادث، حتى تلك التي تبدو، لصغرها، مستعصية على القوانين الطبيعية العامة، هي نتيجة ضرورية لهذه القوانين، مثلها في ذلك مثل حركات الشمس. غير ان جهلنا للروابط التي تشدها الى النظام الكوني العام، قد جعلنا نعزوها الى اسباب غائية او الى الصدفة، حسب ما تكون تلك الحوادث متتابعة بانتظام، او جارية بدون نظام ظاهري، ولقد ادى نمو معارفنا الى استبعاد هذه الاسباب الخيالية، تدريجيا، وهي تختفي الان كليا امام الفلسفة الصحيحة التي لا ترى فيها الا تعبيرا عن جهل، نحن المسؤولون الحقيقيون عنه.

ان الحوادث الراهنة لها مع الحوادث الماضية رابطة مؤسسة على المبدأ الواضح التالي، وهو انه لا شيء يبدأ في الوقوع دون سبب. وان هذه البديهية المعروفة بمبدأ

---

(1) Laplace: Essai philosophique sur les probabilités, présentés comme introduction à la 2e éd (1814) de la Théorie analytique des probabilités OEuves. Paris Gauthiers-Villars 1886 Vol. VII, I P. VI-VII) Texte cité par R. Blanché: La Methode expérimentale et philosophie physique P. 144-145 Armand Colin Paris 1969. Coll U 2.

السبب الكافي (= الحتمية) ينسحب مفعولها حتى على الافعال التي نعتبرها افعالا ارادية حرة والواقع ان اكثر الارادات حرية لا يمكن ان تخلق هذه الافعال الا اذا كان هناك حافز محدد. ذلك لانه اذا تشابهت جميع الظروف بالنسبة لموقفين معينين، وكانت تلك الارادة الحرة تمارس فعلها في احدهما دون الآخر، فان اختيارها هذا سيكون نتيجة لا سبب لها وحينئذ نصبح، كما قال ليبنز، امام تلك الصدفة العمياء التي قال بها الابيقوريون. ان الرأي المخالف يعكس وهما من اوهام الفكر الذي يعتقد، امام عجزه عن رؤية الاسباب الخفية التي تدفع الارادة الى الاختيار بين الاشياء المتماثلة، ان هذه الارادة قد حددت نفسها بنفسها ودونما حافز.

يجب ان ننظر، اذن، الى الحالة الراهنة للكون كنتيجة لحالته السابقة وكسبب لحالته اللاحقة. فلو ان عقلا يمكنه ان يعرف، في لحظة من اللحظات، جميع القوى التي تحرك الطبيعة، وكل الاوضاع المتتالية التي تتخذها فيها الكائنات التي تتألف منها - اي الطبيعة -، ولو ان هذا العقل نفسه هو من الاتساع والشمول بحيث يمكنه أن يخضع هذه المعطيات للتحليل، فانه سيكون قادراً على أن يضم في عبارة رياضية واحدة حركات اكبر الاجسام في الكون وحركات أصغر وادق الذرات فلا شيء يكون بالنسبة لهذا العقل موضوع شك، ان الماضي والمستقبل سيكونان، كلاهما، حاضرين امام عينيه. والفكر البشري يمكنه، بالنظر الى التقدم الذي حصل عليه في ميدان الفلك، ان يمدنا بصورة تخطيطية باهتة عن هذا العقل. ان الاكتشافات التي توصل اليها الفكر البشري في الميكانيك والهندسة، بالاضافة الى تلك التي قام بها في ميدان الجاذبية الكونية، قد مكنته ان يضمن نفس العبارات التحليلية (الرياضية) احوال نظام الكون، الماضية منها والمقبلة. وبتطبيق نفس المنهج على بعض الموضوعات الاخرى التي تدخل في مجال معرفته، توصل الى ارجاع الظواهر الملاحظة الى قوانين عامة، والى توقع الظواهر التي ستنجم حتما عن الظروف القائمة. ولا شك ان جميع هذه المجهودات التي يبذلها الفكر البشري في البحث عن الحقيقة ستجعله يقترب شيئا فشيئا، وباستمرار، من هذا العقل الذي تخيلناه، والذي سيظل دوما، مع ذلك، بعيد المنال».

# الصّدفَة [1]

## كورنو

سادت النزعة الميكانيكية النيوتونية في القرن الثامن عشر والنصف الأول من القرن التاسع عشر وتردد صداها حتى في العلوم الانسانية التي لا تقبل التحديد الحتمي فنشأت نزعات ميكانيكية في علم الاجتماع وعلم النفس وأصبح كثير من العلماء والفلاسفة يفسرون الحوادث التي تقع صدفة بكونها نتيجة اسباب نجهلها. ومن هنا اكتست الصدفة طابعا ذاتيا واصبحت مرتبطة بحالة الانسان من العلم والجهل وقد عبر لابلاس عن هذا اقوى تعبير - كما رأينا - عندما تخيل عقلا يفوق عقل البشر يستطيع الاحاطة بجميع الاسباب والظواهر ومن ثمة يستطيع التنبؤ بما سيكون عليه الكون كله. ان هذا يعني ان الصدفة ستصبح منعدمة بالنسبة لهذا العقل المحيط. ولقد كان العالم الرياضي والفيلسوف الفرنسي كورنو (1801-1877) على رأس الباحثين الذين اعطوا للصدفة معنى موضوعيا غير متعلق بدرجة علم الانسان او جهله، فاتحا الطريق بذلك لحساب الاحتمالات والاحصاء. ان كورنو يرى أن للصدفة وجودا موضوعياً، فهي نتيجة تلاقي سلاسل مستقلة من الاسباب، وليست ناتجة عن جهل الانسان ولا هي مناقضة لمبدأ السببية، بل انها مظهر من مظاهر مبدأ السببية ذاته، نجده في الحوادث المادية والظواهر البشرية. وبذلك يكون كورنو قد خفف من جمود الفهم الميكانيكي للحتمية، في نفس الوقت الذي أرجع فيه الصدفة إلى نوع من السببية.

---

«ما من ظاهرة، او حادث يحدث الا وله سبب. ذلك هو المبدأ الموجه للعقل البشري والمنظم لعملياته خلال البحث في الحوادث الواقعية. قد يحدث احيانا ان يغيب عنا سبب الظاهرة، او ان نتخذ سببا ما ليس بسبب، ولكن، لا عجزنا عن تطبيق

---

(1) Antoine August Cornot: Exposition de la thèorie des Chances et des Probabilités. Hachette. Paris 1843.

مبدأ السببية، ولا الاخطاء التي نقع فيها عند تطبيقه بقادرين على زعزعة ايماننا بهذا المبدأ الذي نعتبره قاعدة مطلقة وضرورية.

اننا نرجع القهقرى من النتيجة الى سببها المباشر، ثم نعتبر هذا السبب بدوره نتيجة لسبب آخر، وهكذا دواليك، دون ان تتصور اذهاننا وجود ما يوقف هذا القانون، قانون التراجع مع نظام الحوادث فما نعتبره في اللحظة الراهنة نتيجة يمكن ان يصبح دوره سببا لنتيجة لاحقة، وهكذا الى ما لا نهاية له. ان هذه السلسلة اللانهائية من الاسباب والنتائج المترابطة في سياق الزمن، السلسلة التي تشكل الظاهرة الراهنة حلقة من حلقاتها، هي عبارة عن متسلسلة خطية[2] ويمكن ان تتواجد في وقت واحد سلاسل من هذا النوع، لا نهائية العدد، تمتد مع سياق الزمن، او تتقاطع بشكل يجعل من ظاهرة واحدة بعينها، تضافرت على حدوثها عدة ظواهر، نتيجة لمجموعة متمايزة من سلاسل الاسباب المولدة (= الفاعلة)، او سببا تتولد عنه بدوره سلاسل من النتائج عديدة، تبقى متمايزة ومفصولة تماما عن بعضها بعضا، بعيدا عن منطلقها الأول.

يمكن ان نكون لانفسنا فكرة بسيطة عن تقاطع هذه السلاسل وعن استقلال بعضها عن بعض، بالنظر الى ترابط الأجيال البشرية. فالشخص الواحد يرتبط، عن طريق ابيه وامه، بسلسلتين من الاصول تتفرعان عند كل جيل. ويمكن لهذا الشخص ان يصبح بدوره اصلا او مصدرا مشتركا للعديد من سلاسل النسب تبقى متمايزة منفصلة عن بعضها ابتداء من هذا الاصل المشترك، او تتقاطع عرضا بفعل الترابطات العائلية. قد يحدث ان تترابط عدة حزمات من فروع هذه السلاسل في فترة زمنية قصيرة، ولكن حزمات اخرى، اكثر عددا، من فروع نفس السلاسل، تتوزع جانبيا وتبقى متمايزة تماما ومعزولة بعضها عن بعض. واذا اعتقد افرادها في اصل مشترك، فان اصالة هذا الاصل ستكون غير علمية يصعب، ان لم يكن يستحيل، اثباتها بشهادات تاريخية.

واذا كان الجيل البشري الواحد لا يمكن ان ينقسم، من جهة الاصول، الا قسمة ثنائية، فانه من الممكن تصور وجود تفريعات عديدة، سواء من جهة الاصول او من جهة الفروع، عندما يتعلق الأمر بعلل ومعلولات غير محددة. وحينئذ سنكون امام ظاهرة يمكن اعتبارها نتيجة لعدد كبير من الاسباب المختلفة. ويظهر ان هذا هو ما يحدث فعلا. فهو ينسجم تماما مع النظام العام السائد في الطبيعة، النظام الذي هو عبارة عن سياق ينتقل، في معظم الحالات، من الانفصال الى الاتصال، مما ينتج عنه تزايد عدد الاسباب المتشابكة تزايدا لا نهائيا وفي هذه الحالة تصبح السلاسل، تلك المتشابكة المترابطة التي تتصور المخيلة بواسطتها تسلسل الظواهر مع سياق الزمن، وهي في هذا

(2) يستعمل المؤلف عبارة متسلسلة خطية Série Linéaire وهي مصطلح رياضي يفيد التسلسل الى ما لا نهاية (= الاتصال) وسنستعمل هنا كلمة متسلسلة وأحيانا كلمة سلسلة توخيا لسهولة التعبير.

أشبه بحزمات من الاشعة الضوئية، تصبح عبارة عن كتل متداخلة تنبسط وتنقبض، دون ان يكون في الامكان تبين الاتصال في نسيجها العام.

وسواء نظرنا الى الاسباب المولدة لظاهرة ما كأسباب متناهية، او اعتبرناها اسبابا لا نهائية العدد، فان الاعتقاد السائد بين الناس هو ان هناك سلاسل من الظواهر المترابطة او المتمايزة، وسلاسل تنمو متوازية متتابعة دون ان يكون بينها ما يربط بعضها ببعض او يجعل بعضها يتوقف على بعض. صحيح ان بعض الفلاسفة قالوا ان كل شيء في العالم مترابط ومتلاحم، مبرهنين على ذلك بطريقتهم الخاصة، او بحجج ذكية، او بتصورات خيالية مضحكة. ولكن لا براعة ادلتهم، ولا سخافة حججهم يمكن ان تقنع الرأي العام او تشككه في معتقده. فلا احد يفكر جديا في انه اذا ضرب الارض برجله ادى الى ازعاج الملاح الذي يسافر على سفينة على الطرف الاخر من الكرة الارضية، او الى احداث خلل في نظام حركة اقمار المشترى. واذا قبلنا من الناحية النظرية بامكانية حدوث مثل هذا الخلل او ذاك الإزعاج، بفعل أسباب مثل التي ذكرنا، فإنه لا بد من التسليم بأننا لا نستطيع قط ملاحظة ذلك، وبأننا لا نمتلك اية وسيلة تمكننا من تتبع اثارة على الظواهر. وبعبارة اخرى ان هذا الترابط المزعوم، بين اجزاء العالم، لا يقدم لنا عن نفسه اية اشارة حسية، فهو بالنسبة لنظام الحوادث القابلة للملاحظة من قبيل ما لا وجود له.

ان الحوادث الناجمة عن تداخل او تلاقي ظواهر تنتسب الى سلاسل مستقلة، في نظام السببية، هي ما نسميه بالحوادث العرضية او بنتائج الصدفة.

لنوضح هذا بأمثلة: لنفرض ان اخوين شقيقين يعملان في فرقة عسكرية واحدة لقيا حتفهما معا في احدى المعارك، فعندما ننظر الى رابطة الاخوة التي تجمعهما والى المصيبة التي حلت بهما يبدو لنا الأمر غريبا جدا. ولكن عندما نفكر في المسألة بعمق يتضح لنا ان انتماءهما الى نفس الفرقة العسكرية ووفاتهما في نفس المعركة ليس من الضروري ان يكونا مستقلين احدهما عن الاخر، وان الصدفة ليست وحدها التي ادت بهما الى ذلك المصير المفجع. ذلك لأنه من الجائز ان يكون الأخ الاصغر قد التحق بالجندية اقتداء باخيه الأكبر، وبالتالي يصبح من الطبيعي تماما ان يعمل على الالتحاق بالفرقة التي ينتمي اليها هذا الأخير، مما سيجعلهما معرضين لنفس الاخطار ويسمح لكل منهما بالمسارعة الى نجدة الآخر. واذا حدث ان واجها معا خطرا ماحقا فليس غريبا ان يلاقيا حتفهما معا. وقد يكون لاسباب اخرى، لا علاقة لها بكونهما أخوين، دور في هذا الحادث، ولكن الاقتران بين كونهما اخوين، وكونهما لقيا حتفهما معا، ليس راجعا الى محض الصدفة.

لنفرض الان ان هذين الاخوين ينتميان الى جيشين، احدهما يقاتل في الجبهة الشمالية والثاني يقاتل في سهول جبال الألب (= الجبهة الجنوبية)، وان معركة نشبت في نفس اليوم، في الواجهتين معا، وانهما لقيا حتفهما في نفس اليوم كذلك، كل في الجبهة التي

يعمل فيها. وفي هذه الحالة يكون من المعقول اعتبار وفاتهما معا، في نفس اليوم، راجعا الى محض الصدفة. ذلك لأن العمليات الحربية في الجبهة الشمالية ونفس العمليات في الجبهة الجنوبية تشكلان، نظرا لبعد المسافة، سلسلتين، تشتركان فعلا في نقطة الانطلاق لكونهما تخضعان معا لأوامر مركز القيادة العسكرية، ولكنهما تسيران بعد ذلك في استقلال كامل عن بعضهما بعضا نظرا لضرورة التكيف مع المعطيات المحلية الخاصة بكل جبهة. وهنا ستكون الظروف التي ادت الى نشوب القتال على الجبهة الأولى لا علاقة لها بالظروف التي ادت الى اشتعال الحرب في الجبهة الثانية، على الرغم من ان المعركتين نشبتا في نفس اليوم. وهكذا فاذا دخلت الفرقتان في المعركة في اليوم نفسه، وكان عدد القتلى فيهما كبيرا، فان مقتل الاخوين، كل في فرقته لن تكون له اية صلة بكونهما اخوين شقيقين.

يجب ان لا ننسب مثل هذه الحوادث الى الصدفة، فقط لكونها نادرة وغريبة. بل بالعكس، فكون الصدفة هي التي ادت الى حدوثها وحدها، دون حوادث اخرى يمكن ان تتسبب فيها ملابسات مخالفة، هو ما يجعل منها حوادث نادرة، وكونها حوادث نادرة هو ما يجعلها تبدو لنا غريبة. فعندما يمد رجل معصب العينين يده الى صندوق يشتمل على نفس العدد من الكرات البيضاء والكرات السوداء، فان امساكه بكرة بيضاء لا يكتسي في نظرنا اية غرابة ولا اية ندرة، تماما كما لو انه امسك بكرة سوداء. ومع ذلك فان امساكه بهذه الكرة او تلك هو بحق، من عمل الصدفة. ذلك لأنه ليس ثمة في الظاهر اية رابطة بين الاسباب التي ادت الى وقوع يد الرجل على كرة معينة والاسباب التي جعلت هذه الكرة بيضاء او سوداء.

نعم، لقد اعتدنا، في لغتنا العادية، استعمال كلمة صدفة بالنسبة للحوادث التي تأتي نتيجةملابسات نادرة ومثيرة للاستغراب. فإذا اخرج الرجل المذكور من الصندوق كرة بيضاء اربع مرات متوالية قلنا ان ذلك راجع الى صدفة كبيرة، الشيء الذي لا نقوله عندما يخرج كرتين بيضاوين ثم كرتين سوداوين، وبالاحرى، عندما تتتابع الكرات البيضاء والسوداء بانتظام اقل، مع ان هناك في جميع هذه الاحوال، استقلالا كاملا بين الاسباب التي وجهت يد الرجل والاسباب التي منحت الكرات لونها. اننا ننتبه الى الصدفة التي قتلت الأخوين في يوم واحد، ولا ننتبه، او ننتبه بدرجة اقل، الى الصدفة التي اودت بحياة احدهما قبل الاخر بفاصل زمني مقداره شهر او ثلاثة اشهر او ستة اشهر، على الرغم من عدم وجود اية رابطة بين الاسباب التي ادت الى مقتل الأكبر في يوم معين، والاسباب التي ادت الى مقتل الأخ الاصغر في يوم آخر، ولا بين هذه الاسباب وبين رابطة الاخوة التي تجمعهما. وعندما يمد العامل الذي يشتغل في مطبعة تستعمل الحروف اليدوية المنقوشة على قطع حديدية، يده الى صندوق تتراكم فيه، بلا نظام، هذه الحروف فيخرج لنا بكيفية عشوائية مجموعات من الحروف، فاننا لا ننتبه الى المجموعات التي لا تشكل صوتا قابلا للنطق ولا كلمة من كلمات لغة معروفة، على

الرغم من انه ليس ثمة اية رابطة بين الاسباب التي وجهت يده بالتتابع نحو هذه القطعة او تلك وبين الاسباب التي جعلت هذه القطع تحمل هذا الحرف او ذاك. ان هذا الفرق الغامض المبهم الذي نستعمل به كلمة صدفة في الحياة اليومية يجب استبعاده تماما عندما نتحدث بلغة من خصائصها الدقة في التعبير. لغة العلم والفلسفة انه لا بد، كي يحصل التفاهم، من الاهتمام بدرجة خاصة بما هو اساسي وجوهري في مفهوم الصدفة، اي الاهتمام بفكرةالاستقلال، او عدم الترابط والتداخل بين مختلف سلاسل الحوادث او الاسباب.

وفي هذا الصدد، كثيرا ما يستشهد بفكرة هيوم القائلة: «ليس ثمة صدفة بمعنى الكلمة، ولكن هناك ما يكافئها،، اي ما نحن فيه من جهل بالاسباب الحقيقية للحوادث». كما ان لابلاس نفسه ينطلق في كتابة من المبدأ التالي: «ان الاحتمال نسبي، يرجع في جزء منه الى ما لدينا من معلومات، وفي جزء اخر الى ما نحن فيه من جهل»، ومن هنا يخلص الى القول: انه بالنسبة لعقل سام يستطيع تبين جميع الاسباب وتتبع جميع النتائج التي تلزم عنها، لن يكون هناك علم خاص بدراسة الاحتمالات، لأن مثل هذا العلم سيكون بالنسبة اليه غير ذي موضوع.

مثل هذه الأفكار افكار غير صائبة. نعم ان كلمة صدفة لا تدل على شيء يتمتع بوجود انطلوجي، فهي ليست جوهرا، بل هي فكرة تدل على الائتلاف والتراكب بين منظومات عديدة، من الاسباب والحوادث، يتطور كل منها في سلسلته الخاصة به وينمو فيها باستقلال عن الباقي، والعقل السامي الذي تخيله لابلاس لن يختلف عن عقل الانسان الا في كونه اقل تعرضا للخطأ، اي في كونه لا يخطىء أبدا في تطبيق هذا المعطى العقلي. فهو لن يقع في الخطأ الناجم عن النظر الى السلاسل التي يؤثر بعضها في بعض وفق قانون السببية كسلاسل مستقلة، ولن ينسب الاستقلال الى الاسباب التي ليست في الواقع مستقلة. انه سيحسب بيقين اكبر، ولربما بدقة تامة، نصيب الصدفة في تطور الظواهر المتتابعة ونموها. انه سيتبين، مسبقا، النتائج الراجعة الى تضافر الأسباب المستقلة، الشيء الذي نعجز نحن عن القيام به في الغالب.

لنفرض مثلا ان مكعبا من مكعبات لعبة النرد، ذا بنية غير منتظمة تلقي به على الطاولة قوى محددة في شدتها واتجاهها ونقطة تأثيرها لدى كل مرة، باسباب مستقلة عن الاسباب التي تفعل بها في المرات الاخرى،انّ هذا العقل السامي الذي قال به لابلاس سيعرف ما لا نعرفه نحن سيعرف ماذا ستكون عليه، على وجه التقريب العلاقة بين عدد المرات التي تسفر عن سطح معين من هذا المكعب، وبين مجموع المحاولات، وسيكون علمه بذلك اكيدا، عندما يكون على بينة تامة من القوى التي تؤثر وعندما يتمكن من حساب نتائج هذه القوى في كل محاول من محاولات اللعب، وبالاحرى عندما يكون علمه اوسع من ذلك. وبكلمة واحدة سيكون هذا العقل اقدر منا على معالجة وتطبيق جميع

العلاقات الرياضية المتعلقة بالصدفة وعلى ان يجعل منها قوانين لنظام الحوادث في الطبيعة.

في هذا الاطار يكون من الصحيح القول - وهذا ما قيل مرارا أيضا - بان الصدفة تحكم العالم، او على الاصح، لها نصيب، ونصيب مهم في تدبير العالم وهذا لا يعني بوجه من الوجوه استبعاد فكرة وجود تدخل علوي الهي، سواء اعتبرنا هذا التدخل الالهي لا يتناول الا النتائج العامة والمتوسطة، التي تضبطها قوانين الصدفة، او كان يتناول التفاصيل والجزئيات بشكل يتسق مع رؤى تتجاوز علومنا ونظرياتنا.

اما اذا بقينا في مستوى الاسباب الثانوية والحوادث الطبيعية التي تشكل الميدان الخاص بالعلم، فان النظرية الرياضية للصدفة تبدو لنا كتطبيق واسع جدا لعلم الاعداد وبالتالي كتبرير ناجح للحكمة القائلة: «العالم تحكمه الاعداد». والواقع انه على الرغم مما قد يكون للفلاسفة من آراء في هذا الصدد، فلا شيء يسمح بالاعتقاد بان جميع الظواهر يمكن الرجوع بها الى مفاهيم الامتداد والزمان والحركة، وبكلمة واحدة، الى المقادير المتصلة القابلة للقياس التي هي موضوع الهندسة. ان اعمال الكائنات الحية، اعمالها العقلية والخلقية لا يمكن تفسيرها في اطار معارفنا الراهنة. ويمكن ان نتجرأ فنصرح انها لن تقبل التفسير بميكانيكا علماء الهندسة. انها لا تنتمي الى الجانب الهندسي والميكانيكي في ميدان الاعداد. انها تقف جنبا الى جنب، في هذا الميدان نفسه، لتحتل نفس الموقع الذي يحتله مفهوم تراكب السلاسل ومفهوم الحظ، مفهوم السبب ومفهوم الصدفة، هذان المفهومان اللذان يتجاوزان على صعيد التجريد، مستوى الهندسة والميكانيكا، واللذان يطبقان على ظواهر الطبيعة الحية، ظواهر العالم العقلي والعالم الاخلاقي، كما يطبقان على الظواهر الناجمة عن حركة المادة الجامدة».

# فيزياء الذرة وقانون السببية(1)

## هايزنبرغ

يعتبر ويرنر هازنبرغ صاحب علاقات الارتياب من اقطاب مدرسة كوبنهاجن التي كان يتزعمها بور، والتي نادت باللاحتمية ذاهبة في ذلك مذهبا وضعيا متطرفا. وفي هذا النص الذي يعالج فيه هايزنبرغ تطور مفهوم السببية منذ القديم الى اليوم يحاول ان يجد في تاريخ العلم ما يؤكد وجهة نظر مدرسة كوبنهاجن الوضعية التي ترفض الحتمية وتقول بالطابع الاحصائي للقوانين العلمية مع اعطائه مفهوم اللاتحدد. وتلك وجهة نظر يرفضها كثير من العلماء وعلى رأسهم اينشتين ولوي دوبروي وغيرهما، كما سنرى في النصوص المقبلة. على ان الذي يثير الاستغراب حقا هو تأكيد هايزنبرغ في آخر النص على استحالة توصل العلم في المستقبل الى «انقاذ» مبدأ الحتمية، وهذا تأكيد، بل مجازفة، لا ينسجم مع الروح العلمية.

---

«من اهم النتائج العامة التي اسفرت عنها الفيزياء الذرية الحديثة تلك التعديلات التي تعرض لها مفهوم القانون الطبيعي.

لقد درج الناس على القول، خلال السنين الأخيرة، ان العلم الذري قد ابطل مبدأ السببية، او على الاقل، افقده قسطا من سلطته وذلك الى درجة انه لم يعد من الممكن الحديث عن ضبط عمليات الطبيعة، بالمعنى الدقيق لكلمة ضبط، بواسطة قوانين. واحيانا يقال فقط ان مبدأ السببية لا يسري مفعوله الى علم الذرة الحديث. ان اقوالا كهذه ستظل غامضة ما دام مفهوم السببية ومفهوم القانون غير واضحين بصورة كافية. ولذلك ارتأيت ان اتناول باختصار، فيما يلي، تاريخ هذين المفهومين ومراحل تطورهما، لأنصراف بعد ذلك الى تبيان العلاقة التي كانت قائمة بين العلم الذري وقانون السببية

(1) Werner HeisanbrtgLa nature dans la Physique contemporaine PP. 37. 58. Coll. idée Gallimard. 1962.

قبل قيام نظرية الكوانتا، واخيرا ساتحدث عن نتائج نظرية الكوانتا، وعن تقدم العلم الذري في السنوات الاخيرة، وهو تقدم غير معروف لدى الجمهور بدرجة كافية، ويظهر بالخصوص انه ستكون له اصداء ونتائج في ميدان الفلسفة.

## 1- مفهوم « السببية ».

اذا نظرنا الى المسألة من الوجهة التاريخية فاننا سنجد ان المطابقة بين مفهوم السببية وبين القاعدة التي تقول لكل نتيجة سبب، شيء حديث نسبيا. فكلمة **Causa** (علة) في الفلسفة القديمة كانت ذات دلالة اوسع جدا من دلالتها الحالية. فالفلسفة المدرسية - فلسفة القرون الوسطى - كانت تتحدث، استنادا الى ارسطو، عن اربعة اشكال من « العلة »: العلة الصورية **Causa formalis** التي يعبر عنها حاليا بالبنية او المحتوى المفهومي للشيء. والعلة المادية **Causa materialis** اي المادة التي منها يتكون الشيء، والعلة الغائية **Causa finalis** التي هي الغاية من الشيء، واخيرا العلة الفاعلة **Causa efficiens** وهذه الأخيرة، اي العلة الفاعلة، هي وحدها التي تعادل، تقريبا، ما نعنيه اليوم بكلمة سبب.

ان تحول مفهوم العلة القديم، الى المفهوم الحالي للسبب، قد جرى عبر القرون بارتباط داخلي مع التحول الذي تعرض له مفهوم الواقع - او الوجود الواقعي - كما كان يتصوره الناس قديما، وبارتباط كذلك مع نشوء علم الطبيعة في بداية العصر الحديث. وعندما اخذ مفهوم الوجود الواقعي يعني، اكثر فاكثر، العمليات المادية التي تتم في الطبيعة، اخذ مفهوم العلة بدوره ينطبق على تلك العمليات المادية الخاصة التي تسبق الحادث الذي يراد تفسيره، والتي تتسبب في حدوثه، بشكل من الاشكال. ولذلك نجد « كانت » الذي عمد في مواضع كثيرة الى استخلاص النتائج من تقدم علوم الطبيعة منذ نيوتن، يستعمل كلمة السببية في المعنى الاصطلاحي الذي كان شائعا في القرن التاسع عشر: « عندما نعلم بحدوث شيء، فاننا نفترض دوما ان شيئا اخر قد سبقه، وانه جاء نتيجة له حسب قاعدة معينة ». بهذه الصورة تحددت صيغة مفهوم السببية، واصبح هذا المفهوم يعني في نهاية الأمر انتظار حصول حادث في الطبيعة بصورة محددة، وبالتالي اصبحت المعرفة الدقيقة بالطبيعة، او جزء منها، تكفي، من الناحية المبدئية على الاقل، لتوقع ما سيحصل في المستقبل. وهكذا كانت فيزياء نيوتن قائمة على التصور التالي، وهو انه من الممكن ضبط حركة منظومة ما مسبقا اذا عرفت حالة[1] هذه المنظومة في لحظة معينة. لقد اعتبر هذا المبدأ طبيعيا، وقد صاغه لابلاس بصورة عامة جدا، واضحة جدا. لقد اوحى له خياله بشيطان مارد يستطيع، اذا عرف في لحظة معينة موقع وحركة جميع الذرات (التي في الكون)، ان يقوم بعملية حسابية يرسم بواسطتها قبليا، كل مستقبل

---

(1) حالة منظومة ما هي القيم التي تحدد موقعها وكمية حركتها. المترجم.

الكون. اما اذا نظرنا الى مفهوم السببية بمعناها الضيق، فاننا نجد ان المقصود منها هو «الحتمية»، اي وجود قوانين طبيعية ثابتة تحدد بشكل دقيق وصارم ما ستكون عليه حالة منظومة ما في المستقبل، بناء على حالتها الراهنة.

## 2 - القوانين الاحصائية

لقد عمل العلم الذري منذ بداية نشأته على صياغة وتطوير مفاهيم لا تتفق، والحق يقال، مع هذه الصورة التي رسمناها عن مبدأ السببية. ولكن هذا لا يعني ان هذه المفاهيم الجديدة تناقض الأسس التي قامت عليها تلك الصورة. فكل ما في الأمر هو ان طريقة التفكير الخاصة بالعلم الذي كان لا بد ان تتميز منذ البداية، عن اسلوب التفكير الذي تقوم عليه الحتمية. فلقد سبق للمذهب الذري القديم الذي نادى به ديمقريطس ولوسيب **Leucippe** ان اعتبر العمليات التي تجري على مستوى الاشياء الكبيرة كنتيجة للعديد من العمليات والتحولات اللامنتظمة التي تجري على مستوى الجسيات الدقيقة. هناك حوادث كثيرة نشاهدها في الحياة اليومية، تؤكد كلها هذا المبدأ. ان ما يلفت انتباه الفلاح هو ان سحابة ما قد انهمرت مطرا وسقت الارض، اما الكيفية التي نزلت بها كل قطرة من المطر، فذلك ما لم يكن احد في حاجة الى معرفته. لنأخذ مثالا آخر: ان الجميع يفهم ماذا تعنيه كلمة صوان (جرانيت **Granit**) على الرغم من ان الناس لا يعرفون بالضبط شكل بلوراته ولا تركيبها الكيائي ولا نسبها داخل هذا المركب الذي هو الصوان. هكذا اذن، نستعمل باستمرار مفاهيم لها علاقة بسلوك الظواهر على مستوى الاشياء الكبيرة، دون ان نهتم بالعمليات والحوادث المعزولة (او الفردية) على المستوى الجسيمي.

لقد سبق لعلم الذرة القديم ان بنى تفسيره للكون على اساس فكرة الترابط الاحصائي بين العديد من العمليات الصغيرة المعزولة، فعمم هذه الفكرة وقدم لنا صورة عن العالم، قوامها ان جميع الكيفيات الحسية التي للمادة، يرجع السبب فيها، بكيفية غير مباشرة، الى وضعية الذرات وحركتها. يقول ديمقريطس «لا يكون الشيء حلوا او مرا الا في الظاهر. اما في الواقع فلا وجود لشيء اخر غير الذرات والخلاء» فاذا فسرنا هكذا الظواهر المحسوسة بواسطة تضافر العديد من العمليات الصغيرة المعزولة نتج عن ذلك ضرورة، اننا نعتبر قوانين الطبيعة احصائية لا غير. والحق ان هناك قوانين احصائية يمكن ان تؤدي الى تأكيدات ذات درجة احتالية عالية تساوي، تقريبا، درجة اليقين. غير ان هناك استثناءات لهذا المبدأ. على ان مفهوم القانون الاحصائي كثيرا ما يبدو متناقضا، فهو يعني، من جهة، انه من الممكن النظر الى العمليات الطبيعية كعمليات محددة بقوانين، ويعني من جهة اخرى ان هذه العمليات تجري بدون ادنى نظام وان القوانين الاحصائية لا تمثل شيئا. وعلى الرغم من هذا يجب ان لا ننسى اننا، في حياتنا اليومية، لا نخطو خطوة واحدة دون ان نصادف قوانين احصائية تنبني عليها

انشطتنا العملية. فعندما يشيد التقني محطة مائية (سد مثلا) فانه يأخذ في حسبانه كمية متوسطة من مياه المطر، على الرغم من انه لا يستطيع ان يتوقع متى سينزل المطر، ولا كمية الماء التي سيخلفها.

تدل القوانين الاحصائية عادة على اننا لا نعرف المنظومة موضوع الدرس الا بشكل ناقص. واشهر مثال على ذلك هو لعبة النرد. فبا ان سطوح لعبة النرد متماثلة لا يتميز اي منها عن الباقي، وبما اننا لا نستطيع، بأي وجه من الوجوه، التنبؤ بالسطح الذي سيسقط عليه المكعب الصغير، فبامكاننا ان نفترض ان الدورة السادسة من دورات اللعب المكونة من عدد كبير من المحاولات، هي وحدها التي سيظهر فيها السطح الذي عليه خمس نقط.

لقد جرت، منذ بداية العصر الحديث، محاولات ترمي الى تفسير حركة المادة، من الناحيتين الكيفية والكمية معا، بواسطة السلوك الاحصائي لذراتها. وهكذا ادلى روبير بويل[1] بفكرة مؤداها انه من الممكن فهم العلاقات التي تقوم بين حجم الغاز ودرجة ضغطه بمجرد ما نفسر هذا الضغط بكونه ناتجا عن اصطدام ذرات ذلك الغاز بجوانب الاناء الذي يحتويه، وبطريقة مماثلة، فسرت ظواهر الدينامية الحرارية **Thermodynamique** بكون الذرات تتحرك حركة اشد وأقوى عندما تتعرض للضغط. وهذا ما أسهم فعلا في اعطاء هذه الملاحظة طابعاً كمياً رياضياً وبالتالي استطاعوا جعل قوانين علم الحرارة مفهومة.

لقد اتخذ استعمال القوانين الاحصائية شكله النهائي التام في النصف الثاني من القرن الماضي بواسطة الميكانيكا التي اطلق عليها اسم الميكانيكا الاحصائية، الميكانيكا التي اشتقت قوانينها الاساسية من نظرية نيوتن، والتي تعالج المنظومات الميكانيكية المعقدة التي تكون معرفتنا بها ناقصة وتدرس النتائج المترتبة عن هذا النقص. ولم يكن هذا يعني قط التخلي عن مبدا الحتمية المحض، بل بالعكس من ذلك كان ينظر الى الحوادث الطبيعية المعزولة كحوادث تقبل التحديد الحتمي بموجب ميكانيكا نيوتن، ولكن مع القول بان الخصائص الميكانيكية للمنظومة التي تضم تلك الحوادث غير معروفة بتمامها. ولقد نجح جيبس وبولترمان[2] في التعبير، موضوعيا، وبواسطة عبارات رياضية عن هذا النوع من المعرفة غير التامة. وقد اوضح جيبس بكيفية خاصة كيف ان مفهوم درجة الحرارة مرتبط فعلا بمعرفة ناقصة ذلك لأن معرفة درجة حرارة منظومة ما معناه ان هذه المنظومة تشكل جزءاً من مجموعة من المنظومات المتكافئة **Systémes equivalents**،

---

(1) Robert Boyle فيزيائي وكميائي انجليزي من ايرلاندا، ولد عام 1627- وتوفي 1691. المترجم.

(2) بولتزمان Boltzmann فيزيائي نمساوي (1844-1906) صاحب ابحاث عديدة في المغناطيس والغازات والدينامية الحرارية، اما جيبس Gibbs فهو رياضي وفيزيائي امريكي (1839-1903) مشهور بأبحاثه في الدينامية الحرارية)، المترجم.

مجموعة يمكن التعبير عنها رياضيا بدقة، الشيء الذي لا يمكن فعله بالنسبة للمنظومة المعزولة موضوع الدرس. لقد خطا جيبس باكتشافه هذا، دون ان يعي ذلك تمام الوعي، خطوة كبيرة كانت لها نتائج مهمة للغاية. لقد كان جيبس اول من ابتكر مفهوما فيزيائيا لا يمكن ان ينطبق على موضوع من موضوعات الطبيعة الا اذا كانت معرفتنا به غير تامة. من ذلك مثلا ان الحديث عن درجة حرارة الغاز يصبح غير ذي معنى اذا كنا نعرف حركة وموقع جميع جزئياته. ان مفهوم درجة الحرارة لا يمكن استعماله الا اذا كانت معرفتنا بالمنظومة المدروسة غير تامة، وكنا نرغب في استخلاص النتائج الاحصائية المترتبة على هذه المعرفة الناقصة.

## 3 - الطابع الاحصائي لنظرية الكوانتا

على الرغم من ان المعرفة الناقصة بمنظومة ما كانت، منذ الاكتشافات التي توصل اليها كل من جيبس وبولتزمان، مندرجة في الصياغة الرياضية للقوانين الفيزيائية، فانه لم يقع التخلي عن مبدأ الحتمية الا بعد ظهور نظرية الكوانتا على يد بلانك. لم يجد بلانك في البداية سوى عنصر واحد يدل على الطابع المنفصل لظواهر الاشعاع التي كان يدرسها. لقد اثبت ان الذرة المشعة لا تصدر الطاقة بكيفية متصلة بل بكيفية منفصلة على شكل صدمات. ان هذا الانفصال في اصدار الطاقة الذي يشبه تتابع الصدمات، قد ادى، مثله في ذلك مثل جميع المفاهيم المتعلقة بنظرية الذرات، الى القول بالطابع الاحصائي لظاهرة الاشعاع. ومع ذكل كان لا بد منمرورخمس وعشرين سنة على اكتشاف الكوانتا حتى يصبح في الامكان اثبات ان نظرية الكوانتا، تحتم، في الواقع، اعطاء الصبغة الاحصائية للقوانين الفيزيائية، والتخلي عن مبدأ الحتمية. فمنذ ان ظهرت ابحاث اينشتين وبور وسومر فيلد بدا واضحا ان نظرية الكوانتا هي المفتاح الذي يفتح باب الفيزياء الذرية على مصراعيه. وكان النموذج الذري الذي قال به روترفورد وبور خير مساعد على تفسير العمليات والتفاعلات الكيماوية مما سمح منذ ذلك الوقت بدمج الفيزياء والكيمياء والفيزياء الفلكية في واحد منصهر، وحتم التخلي عن مبدأ الحتمية المحض عند صياغة القوانين الرياضية للظواهر الطبيعية حسب نظرية الكوانتا.

وبما انني لا استطيع ان اعرض هنا هذه المعادلات الرياضية فاضطر الى الاقتصار على الاشارة الى بعض القضايا التي تلقي الضوء على الوضعية الفريدة التي يجد فيها العالم الفيزيائي نفسه عندما يشتغل بالبحث عن الفيزياء الذرية.

يمكن ابراز الخلاف بين الفيزياء المعاصرة والفيزياء القديمة من خلال ما يمكن ان نطلق عليه: علاقة عدم التحديد (= علاقات الارتياب)[1] لقد ثبت انه من المستحيل

---

(1) من الملاحظ ان العلماء الوضعيين يفضلون عبارة «علاقات عدم التحديد» مضفين عليها طابعا انطولوجيا، في حين يفضل العلماء ذوو الاتجاه اللاوضعي عبارة «علاقات الارتياب» مضفين عليها طابعا معرفيا فقط، المترجم.

معرفة موقع وحركة التجسيم الذري في آن واحد، معرفة دقيقة ارادية. نعم يمكن التعرف على الموقع بدقة، ولكن تدخل آلة القياس حين عملية التعرف هذه يحول الى درجة ما، دون قياس السرعة قياسا دقيقا. وبالعكس فان تحديد السرعة تحديدا مضبوطا يحول بدوره، ولنفس السبب دون التعرف على الموقع. ذلك ان ثابت بلانك يشكل الحد الادنى التقريبي لحاصل ضرب الخطأ المرتكب في تحديد الموقع في الخطأ المرتكب في تحديد السرعة. ان علاقة عدم التحديد هذه تبين، على كلّ حال، ان مفاهيم ميكانيكا نيوتن لن يعود في امكانها السير بنا بعيدا، ذلك لأنه لا بد في قياس حادث ميكانيكي من معرفة موقع الجسم وسرعته في نفس اللحظة، وهذا بالضبط ما تراه نظرية الكوانتا مستحيلا. هذا من جهة، ومن جهة اخرى عمد نييل بور الى التعبير عن هذه الظاهرة بعبارة احرى نعنى بذلك مفهوم الطابع التكاملي، وهو يقصد بذلك ان مختلف الصور الواضحة التي نعبر بواسطها على المنظومات الذرية ينفي بعضها بعضا على الرغم من انها تعبر فعلا عن معطيات بعض التجارب. وهكذا، فمن الممكن مثلا، النظر الى ذرة بور بوصفها منظومة فلكية صغيرة: في وسطها نواة، وحول هذه النواة تدور اليكترونات، هذا في حين ان تجارب اخرى تدل على انه ربما كان من الافضل اعتبار النواة محاطة بمنظومة من الامواج الساكنة يتحكم تواترها في اشعاع الذرة. اضف الى ذلك انه من الممكن النظر الى الذرة كموضوع للكيمياء، وفي هذه الحالة يمكن ضبط رد فعلها الحراري عندما تكون متحدة مع ذرات اخرى، ولكن دون ان يكون في الامكان مراقبة حركة الكتروناتها بشكل تزامني (في آن واحد) والنتيجة هي ان مختلف هذه الصور التي تتمثل بها الذرة صور صحيحة، ولكن شريطة استعمالها استعمالا صحيحاً. ومع ذلك فهي صور يناقض بعضها بعضا. وبالتالي نقول عنها انها متكاملة. ان عدم التحديد الذي تعاني منه كل واحدة من هذه الصور، تضبطه علاقات اللاتحدد وهي كافية لتجنب ما قد يكون هناك من تناقض منطقي بينها. ودون الدخول في البيانات الرياضية الخاصة بنظرية الكوانتا يمكن القول ان هذه الايضاحات التي ادلينا بها تكفي لجعلنا نفهم كيف ان معرفتنا الناقصة بالمنظومة الذرية يجب ان تمثل جزءاً أساسياً في كل عبارة من العبارات الرياضية التي يفصح بها عن نظرية الكوانتا. ان قوانين نظرية الكوانتا يجب ان تكون من طبيعة احصائية. وهذا مثال على ذلك: اننا نعرف ان ذرة الراديوم يمكن ان تصدر اشعة الفا ( $\alpha$ )، وبامكان نظرية الكوانتا ان تبين، في كل وحدة زمنية، درجة احتمال مغادرة الجسيم الفا ( $\alpha$ ) لنواة تلك الذرة، ولكنها لا تستطيع ان تتوقع، بدقة، اللحظة التي سيتم فيها هذا الحادث الذي هو مبدئياً حادث غير ممكن تحديده وضبطه. واكثر من هذا لا يمكن القول انه ستكتشف قوانين جديدة في المستقبل تمكننا حينذلك من تحديد تلك اللحظة بدقة. لأنه اذا أمكن ذلك، فلن يكون في مستطاعنا فهم السبب الذي يجعلنا نستمر في النظر الى الجسيم الفا بوصفه موجة تغادر النواة هذا في حين ان التجربة تؤكد انه كذلك فعلا. ان تناقض مختلف التجارب التي

تؤكد الطبيعة الموجية للمادة الذرية بنفس الدرجة التي تؤكد بها طابعها الجسيمي، تفرض علينا صياغة قوانين احصائية.

ولا يلعب هذا العنصر الاحصائي الذي يلازم الفيزياء الذرية اي دور، في الغالب، عندما يتعلق الأمر بالحوادث التي تقع على المستوى البشري. ذلك لأن احتمالية القوانين الاحصائية جد مرتفعة، في هذا الميدان، الى درجة يمكننا معها اعتبار تلك الحوادث كحوادث محددة فعلا. صحيح ان هناك دوما حالات تتوقف فيها الحوادث التي تقع في مستوى الاشياء الكبيرة، على سلوك ذرة او ذرات نادرة، الشيء الذي يجعلنا لا نستطيع توقع هذه الحوادث الا بكيفية احصائية. واريد ان ابرهن على هذا بمثال معروف. وسألجأ الى هذا المثال على الرغم من انه لا يثير الارتياح، انه القنبلة الذرية. فعندما يتعلق الامر بقنبلة عادية يكون في الامكان القيام مسبقا بتحديد قوة الانفجار بناء على وزن المادة المتفجرة وتركيبهاالكيميائي. اما عندما يتعلق الأمر بالقنبلة الذرية فكل ما يمكننا فعله هو تحديد حد اقصى وحدٍ ادنى لقوة الانفجار، ومن المستحيل مبدئيا تحديد هذه القوة مسبقا تحديدا دقيقا، لأنها تتوقف على سلوك عدد قليل من الذرات خلال عملية التفجير. ومن المحتمل ان تكون هناك حوادث مماثلة في ميدان البيولوجيا - وقد اشار اليها السيد جوردان[1] بكيفية خاصة - ويتعلق الأمر بظواهر على المستوى البشري تتحكم فيها حوادث تتعلق بذرات معزولة. ويظهر ان هذا هو ما يحصل فعلا عند تبادل الجنيات[2] Les genes خلال عملية الوراثة. لقد اخترنا هذين المثالين لنوضح النتائج التطبيقية للطابع الاحصائي لنظرية الكوانتا. لقد تحدد الاتجاه الذي يسير فيه نمو هذه النظرية وتقدمها منذ اكثر من عشرين سنة ومن غير الممكن القول ان المستقبل سيشهد تغيراً اساسيا في هذا المجال.... »

---

(1) جوردان Jourdan عالم رياضي فرنسي (1838-1922)، المترجم.

(2) الجنية Gène وحدة محددة تقع في الكروموزومات، واليها يرجع نمو الخصائص الوراثية للفرد. والكروموزومات Cromosomes هي « أجسام » ذات شكل محدد وعدد ثابت (24 للرجل) توجد في نواة الخلية ويمكن مشاهدتها عند انقسام الخلية، المترجم.

# اللاحتمية والنزعة الذاتية(1)

## ديتوش

من القضايا الايبستيمولوجية التي اثارتها الفيزياء الكوانتية قضية الذاتية والموضوعية في المعرفة العلمية، على الاقل فيما يتعلق بالعالم المتناهي في الصغر. ان عدم قابلية الجسيمات الاولية للتحديد الدقيق كما كشفت عن ذلك علاقات الارتياب لهايزنبرغ، يرجع السبب فيه الى تدخل آلات القياس تدخلا يجعل من الصعب الفصل في نتائج القياس بين ما يعود الى الموضوع الملاحظ وما يرجع الى عملية القياس وأدواته. هذا معطى من معطيات البحث العلمي في مرحلة معينة من تطوره وبالتالي فلا يمكن اهماله. غير ان مدرسة كوبنهاجن، وديتوش من المناصرين لها، ذهبت في تأويل هذا المعطى العلمي مذهبا قصياً. لقد استنتجت من ذلك - كما رأينا في النص الذي اوردناه لهايزنبرغ - ان اللاحتمية واقعة اساسية في الظواهر الكوانتية، لا يمكن تلافيها لا في الحاضر ولا في المستقبل. والقول باللاحتمية الاساسية هذه يستتبع بالضرورة نزعة ذاتية مفرطة لنفس السبب. اي اعتبار تدخل الذات وآلات القياس شيئا لا يمكن التخلص منه وهذا ما يحاول ديتوش ان «يبرهن» عليه في هذا النص.

---

ان التصورات الديكارتية هي التي قادت الى تلك الحتمية التي عرفها العلم الكلاسيكي. وعندما ظهر ان تطبيقها يؤدي الى تناقضات وان التمسك الصارم بالروح الوضعية يمنع من استعمال عناصر تتطلب، لكي تكون محددة بالفعل، القيام بعمليات لا يمكن انجازها، كان لا بد من فحص الامكانيات المبدئية المتعلقة بالقياسات الفعلية فحصا دقيقا، والاقتناع بالتالي بانه ليس في الامكان قياس «حالة» منظومة ما بالمعنى الذي يفهم به القياس في الفيزياء الكلاسيكية، الشيء الذي يعني انه لا يمكن تحويل «علاقات

---

(1) Destouches: Déteminisme et Indéterminisme en physique moderne dans probléme de philodophie des sciences. PP. 39-42-Herman, 1947 Bruxelle.

الارتياب» تحويلا عكسيا (= جعل السبب نتيجة، والنتيجة سببا)، ومن ثمة التسليم بوجود لاحتمية اساسية، ولكن دون ان يعني ذلك الغاء الحتمية الخفية.

هناك براهين واستدلالات صيغت بمهارة ودقة، قصد التمييز بين الحتمية الخفية واللاحتمية الاساسية. تؤكد على ان الميكانيكا الموجية نظرية لا حتمية اساسا، وان اية نظرية قد تشيد في المستقبل، لتغطية ميدان أكثر اتساعاً من ميدان الميكانيكا الموجية، ستكون هي الأخرى نظرية موجية تقول بلا حتمية اساسية. (مبدأ التحليل الطيفي).

واذن يمكننا ان نتساءل: ما هي الخاصية التي تلزم عنها اللاحتمية الاساسية، وما اصل هذه اللاحتمية؟ للجواب عن هذا السؤال يمكن ان نتصور نظرية فيزيائية هدفها ضبط التوقعات التي تسفر عنها نتائج قياس لاحق، انطلاقا من نتائج قياس سابق. ومن نقطة البدء هذه، يمكن تشييد نظرية نطلق عليها: النظرية العامة للتوقعات. ويترتب عن هذه النظرية، بكيفية خاصة، أنه لا يمكن أن يوجد - قانونيا - سوى نوعين من النظريات الفيزيائية.

1 - النظرياتالموضوعوية[1] التي ترى ان نتائج القياس هي خصائص ذاتية للمنظومات التي نلاحظها، وان جميع المقادير - التي تحدد هذه المنظومة - تقبل، قانونيا، القياس المتزامن. مثل هذه النظريات تعتمد الحتمية وتتمسك بها، وترى ان المنظومات التي نراقبها تمتلك حالة ذاتية يمكن وصفها (= تحديدها) بكيفية موضوعية وذلك بالتخلص من تأثير الملاحظين وعمليات الملاحظة.

2 - النظريات الذاتوية التي ترى ان نتائج التجربة لا يمكن النظر اليها كنتائج ذاتية للمنظومات التي نراقبها، وانه يوجد، قانونيا على الاقل، مقدران اثنان لا يقبلان القياس التزامني. انها نظريات لاحتمية اساسا، تقول بالطبيعة الموجية للظواهر، اي بصلاحية مبدأ التحليل الطيفي. ان النظريات الذاتوية تلزم عنها النتيجة التالية، وهي ان المنظومات التي نلاحظها لا يمكن ان تكون لها حالة ذاتية ولا ان يكون لها مقدار يحدد هذه الحالة. ذلك لانها ترى انه لا يمكن، بأي وجه من الوجوه، الغاء دور الملاحظين ولا تأثير عمليات القياس. وبالتالي لا يمكن الحديث عن صورة موضوعية للعالم، ولا عن عالم خارجي مفصول عن النشاط الذي يقوم به الملاحظون.

فاذا ما تبين ان نظرية ذاتوية ما توفي بالمطلوب اي تتوفر على ما يكفي من الصلاحية والصدق، فان النظرية التي ستشيد في المستقبل والتي سيكون مجال صلاحيتها اوسع (وبالتالي ستعوض النظرية الاولى)، ستكون متصفة بنفس الخصائص الذاتوية. هذا من جهة ومن جهة اخرى فان النظرية الموحدة للنظريات المتناقضة تتصف هي نفسها

---

(1) نترجم هنا كلمة Objectiviste بـ«موضوعية» نسبة الى النزعة الموضوعية وكلمة Subjectiviste بـ«ذاتوية» نسبة الى النزعة الذاتية.

بخصائص ذاتوية لم تكن تتصف بها النظريات التي تم توحيدها. وهكذا فان تقدم النظريات الفيزيائية لن يعمل الا على تزايد واتساع الخصائص الذاتوية، وينتج عن هذا، بالخصوص ان الرجوع الى الحتمية يبدو مستحيلا تماما.

يمكن، اذن، ان نعتبر الطابع اللاحتمي لنظرية ما ناتجا عن طابعها الذاتوي (نستعمل هنا كلمة «ذاتوية» بالمعنى الذي شرحناه اعلاه) ولكن الذاتوية تستلزم اللاحتمية الاساسية، واللاحتمية الاساسية تستلزم الذاتوية، مثلما ان الموضوعية تستلزم الحتمية، والحتمية تستلزم الموضوعية.

واذا كان من الواجب النظر الى اللاحتمية الاساسية التي تقوم عليها النظريات الكوانتية كنتيجة للطابع الذاتوي الذي تتصف به هذه النظريات - وهذا ما تسمح بالبرهنة عليه النظرية العامة للتوقعات - فان تفسير هذه اللاحتمية يتطلب مسبقا تفسير أصل هذه الذاتوية. ويظهر أن هذا شيء ممكن: ذلك لانه لما كانت الظواهر الذرية الفردية تستعصي على الحواس، فان إجراء التجارب في الميدان الميكروسكوبي يتطلب آلات للقياس تمكننا من الحصول على مناظر للظاهرة الذرية الفردية المدروسة، في الظواهر القابلة للملاحظة المباشرة، على مستوى العالم الماكروسكوبي....

وهكذا يتضح أنه لا مناص من تدخل آلات القياس، بكيفية أساسية لا يمكن التخلص منها، في المنظومات الذرية موضوع الملاحظة والا استحال علينا معرفة أي شيء عنها. وأنا أقصد هنا بعبارة «بكيفية أساسية لا يمكن التخلص منها» أنه لا يمكن أن نفترض، كما تفعل النظريات الكلاسيكية، ان نتائج القياس هي فعلا خصائص ذاتية للمنظومات المدروسة، ولا أن نفترض أن هذه الخصائص لها، في ذاتها، هذه القيمة أو تلك، وبالتالي لا يمكن الغاء أو اهمال تأثير القياس. أن هذا يعني أنه لا وجود لمقدار خاص يحدد حالة المنظومة، وأن الامر يتعلق بنظرية ذاتوية. ذلك ما يفسر أصل ومنشأ ذاتوية النظريات الكوانتية.

وبعبارة أخرى، يمكن أن نعرف الظاهرة الفيزيائية الماكروسكوبية بكونها ظاهرة يمكن (من الناحية القانونية على الاقل) أن نلاحظها مباشرة بواسطة أعضائنا الحسية، دون اللجوء الى استعمال آلة للقياس: أنه ماكروسكوبي ما يمكن إدراكه بالحواس.

وفي مقابل ذلك يمكن أن نعرف الظاهرة الفيزيائية الميكروسكوبية بكونها ظاهرة لا يمكن (حتى من الناحية القانونية) أن نلاحظها مباشرة بواسطة أعضائنا الحسية. والمنظومة الفيزيائية ستكون ميكروسكوبية اذا كنا لا نستطيع الحصول على اية معرفة بها الا بواسطة قياس يستلزم ضرورة استعمال آلة ماكروسكوبية لا يمكن الاستغناء عنها، من الناحية القانونية.

ولن يكون لهذين التعريفين أي معنى الا اذا قبلنا بفرضية معينة حول إمكانيات

ملاحظة المنظومات الفيزيائية. والتعريفان السابقان يصبحان دقيقين اذا استعملنا قضية معينة، مثل «مبدأ القابلية للملاحظة» الذي قالت به مادام ديتش - فيريي.

والذرات، بحكم تعريفها نفسه، تستعصى على الادراك الحسي، وقد تخيلها الناس ليفسروا بها مظاهر حسية. فلكي تتدخل الذرات في الفيزياء، بكيفية فعلية، يجب ان تتدخل، بشكل من الاشكال، في التجربة، وأن تعمل التجربة على اثبات وجودها بوضوح. ونحن نعرف أن هذا قد تم تحقيقه من طرف المجربين، في بداية هذا القرن. هكذا أصبحت المنظومات الذرية موجودة، ولكن هذه المنظومات لا يمكن ادراكها بالحواس (من الناحية القانونية)، بل فقط بواسطة آلات لا يمكن الاستغناء عنها. ومن نتائج النظرية العامة للتوقعات، يلزم أن تكون كل نظرية ذرية نظرية ذاتوية (بسبب عدم امكانية الاستغناء عن آلات القياس) وبالتالي نظرية لا حتمية.

وهكذا نرى، في نهاية الامر، أن الخاصية الاساسية التي تتصف بها الذرات، والتي تجعلها غير قابلة للادراك بواسطة الحواس، وقابلة للملاحظة غير المباشرة بواسطة القياس، هي التي تجعل كل نظرية ذرية تكتسي طابعا ذاتويا، وبالتالي نظرية لاحتمية اساسا. ومن هنا يتضح اذن، أنه باستعمال النظرية العامة للتوقعات، وباستحضار الخاصية الاساسية الملازمة للذرات، نتمكن من التعرف حقا على أصل اللاحتمية الكوانتية ونتأدى الى تفسيرها.»

# مشكل الحتمية في الفيزياء الكوانتية (1)

لوي دوبروي

يعالج هذا النص مشكل الحتمية في الفيزياء الذرية، ذلك المشكل الذي أثارته علاقات الارتياب التي كشف عنها هايزنبرغ. وعلاوة على المناقشة الخصبة والواضحة التي يتضمنها النص، في هذا الموضوع، فان لوى دوبروى يبين بوضوح كيف أن امتناع التوقع الدقيق في الفيزياء الكوانتية لا يعني الغاء السببية. فالسببية في نظره قائمة، سواء على المستوى الذري أو على المستوى الماكروسكوبي. واذا كان يبدي شكه حول امكانية الوصول في المستقبل الى التوقع الدقيق في ميدان الميكروفيزياء، فانه قد عدل رأيه فيما بعد، كما أشرنا الى ذلك في آخر النص. هذا والمدرسة الفرنسية عموما، ولوى دوبروى أحد أقطابها، تعارض النزعة الوضعية التي تدافع عنها مدرسة كوبنهاجن ان المدرسة الفرنسية تتمسك بالتقليد العقلاني الديكارتي، ومن أجل ذلك لم تلق الوضعية الجديدة في فرنسا أي تأييد يذكر.

---

«لا تطرح مشكلة الحتمية على العالم الفيزيائي بنفس الشكل الذي تطرح به لدى الفيلسوف. فليس على رجل الفيزياء أن يعالج هذه المشكلة في مظهرها الميتافيزيقى العام، وانما عليه أن يبحث لها عن تعريف دقيق في اطار الحوادث التي يدرسها. ولما كان الامر كذلك فان هذا التعريف الدقيق لا يمكن أن يستند - فيما نرى - الا على امكانية التوقع الصارم الظواهر التي ستحدث. وهذا يعني ان الفيزيائى يقول بالحتمية عندما تمكنه معرفته بعدد من الظواهر التي يلاحظها في اللحظة الراهنة أو سبق أن لاحظها في فترة زمنية سابقة، مضافة الى معرفته ببعض قوانين الطبيعة، من أن يتوقع بدقة حدوث هذه الظاهرة أو تلك، من الظواهر القابلة للملاحظة في وقت لاحق. ويبدو أن تعريف الحتمية بهذا الشكل، وهو التعريف القائم على امكانية التوقع الدقيق

(1) Louis de Broglie: Contenu et Discontinu en physique moderne PP. 59–64 Albin Michel. Paris 1949.

للظواهر. هو وحده التعريف الذي يمكن ان يقبله الفيزيائي لأنه وحده التعريف القابل للتحقيق والاختيار. ومع ذلك يجب ان لا نخفي رؤوسنا في الرمال فنسكت عن الصعوبات التي يثيرها تعريف الحتمية الفيزيائية بهذا الشكل. هناك أولا وقبل كل شيء ذلك التداخل الكلي العام بين ظواهر الطبيعة، فحركة أصغر الذرات يمكن أن تتأثر بحركة أبعد النجوم والكواكب، مما يجعل التوقع الدقيق فعلا، لحدوث ظاهرة ما في المستقبل يتطلب مبدئيا المعرفة الكاملة بالحالة الراهنة للعالم، الشيء الذي يجعل مثل هذا التوقع غير ممكن. بيد أن الأمر يتعلق هنا، في الدرجة الأولى، باعتراض نظري. لأن توقع حدوث ظاهرة في المستقبل يمكن القيام به عمليا بالاستناد إلى عدد محدود من المعطيات الخاصة بالحالة الراهنة.

والاعتراض الاهم، هو ذلك الذي يستند إلى كون ملاحظاتنا وقياساتنا هي ذات طابع تقريبي ضرورة. فالمعطيات التي تمدنا بها الملاحظة والقياس معرضة دوما للاخطاء التجريبية، ومن ثمة فان التوقعات التي يمكن أن نقوم بها، انطلاقا من هذه المعطيات الناقصة، ستكون هي الأخرى معرضة لشيء من عدم الدقة، مما سيجعل التحقق من قابلية التوقع الدقيق للظواهر، وبالتالي الحتمية، كما عرفناها اعلاه، أمرا تقريبيا دوما. ومع ذلك، فان هذا الاعتراض الجديد لا يبدو انه قد اتخذ فعلا شكل الاعتراضات التي لا يمكن التغلب عليها، لانه من الممكن أن تتحسن ملاحظاتنا وتدق قياساتنا، اما بتهذيب مناهج البحث واما باتقان الطرق التجريبية. فاذا كنا نحصل دوما على توقعات تزداد دقة بازدياد التحسن في ملاحظاتنا، أمكننا أن نعتبر الحتمية كواقعة تميل الى التحقق الكامل.

لم يكن هناك في الفيزياء الكلاسيكية ما يكذب الفكرة القائلة بامكانية توقع الظواهر المقبله توقعا أكثر كمالا، كلما كانت طرقنا في الملاحظة والقياس أكثر دقة. وبهذا المعنى كانت الحتمية الفيزيائية أمرا مسلما به، قبل تقدم معارفنا في ميدان الظواهر الكوانتية. غير انه عندما بدأ الفيزيائيون يتوغلون في سلم المقادير الصغيرة وأصبحوا يدرسون ظواهر العالم الذري حيث تكشف الكوانتا عن وجودها وتمارس تأثيرها، لاحظوا ان ذلك الميل نحو التحقق الكامل للقابلية للتوقع الدقيق لايمكن السير به الى اللانهاية بواسطة إطراد دقة معطيات الملاحظة والقياس. والواقع أنه عندما نريد القيام، في الميدان الذري، بتمحيص متزايد للحالة الراهنة التي توجد عليها الاشياء، قصد الحصول على معرفة دقيقة بالظواهر اللاحقة، فاننا نصطدم باستحالة امكانية التمحيص الدقيق لجميع المعطيات الضرورية في آن واحد: وتلك، كما هو معروف، احدى النتائج الاساسية التي أسفرت عنها علاقات الارتياب التي صاغها هايزنبرغ. ذلك، لانه بمقدار ما نوجه ملاحظتنا وقياساتنا بالشكل الذي يمكننا من تمحيص بعض المعطيات، بمقدار ما تتناقص دقة معرفتنا بمعطيات ضرورية أخرى. أن

التحليلات الدقيقة والعميقة التي قام بها كل من بور وهايزنبرغ قد أكدت هذه النقطة، فاوضحت بجلاء أن هذه الواقعة الجديدة التي لم تكن منتظرة من طرف الفيزيائيين الذين تشبعوا بالافكار الكلاسيكية، هي نتيجة ضرورية لوجود كوانتوم العمل ذاته. وبما ان كوانتوم العمل هو اليوم بمثابة احدى الحقائق الاساسية جدا في الفيزياء، فلا مجال للشك في ان علاقات الارتياب التي صاغها هايزنبرغ تكتسي هي الاخرى أهمية أساسية في هذا المجال. فسبب هذه العلاقات أصبح الميل نحو القابلية للتوقع الكامل، الميل الذي مكننا في الفيزياء القديمة من تأكيد حتمية الظواهر كواقعة تتجه نحو التحقق، شيئا لايمكن السير به الى اللانهاية، اذ لابد أن يتوقف السير عندما يصل الى مستوى العالم الذري، اي المستوى الذي يصبح فيه كوانتوم العمل يمارس تأثيره، وغير قابل للاهمال.

لنقل الان كلمة عن العلاقة بين مفهوم الحتمية ومفهوم السببية، وهي علاقة لاتكتسي دوما ما يكفي من الوضوح والدقة، وهي تتوقف، الى حد كبير، على نوع التعريف الذي نعرف به كلا منهما. وهكذا فبعض الكتاب يعتبرون مفهوم السببية أضيق من مفهوم الحتمية ويقولون، تبعا لذلك، أن الحتمية ما تزال قائمة في الفيزياء الكوانتية، أما السببية فلا. ونحن نرى، بالعكس من ذلك، أن أقرب الاراء الى طبيعة الامور، هو القول أنه لم تعد هناك حتمية في الفيزياء الكوانتية بالمعنى الذي حددنا به الحتمية من قبل، أما السببية فهي ما تزال قائمة فيها، مع اعطاء مفهوم السببية معنى أوسع قليلا كما سنوضح ذلك فيما يلي:

لنعتبر الظاهرة «أ» التي تتبعها دوما احدى الظواهر الآتية ب1، ب2، ب3. فإذا كان من المتنع، بالاضافة الى ذلك، حدوث أي من الظواهر ب1، ب2، ب3... عندما يمتنع حدوث الظاهرة «أ» أمكننا القول، مع الأخذ بتعريف واسع للسببية، ان الظاهرة «أ» هي سبب الظواهر ب1، ب2، ب3،... إن هذا التعريف ينسجم تماما مع القول المأثور: «لا نتيجة بدون سبب» ويسمح بالقول بوجود رابطة سببية بين الظاهرة «أ» والظواهر ب1، ب2، ب3... ولكن لن تكون هناك حتمية، بالمعنى الذي حددنا به هذه الكلمة من قبل، اذا كنا لا نستطيع قط توقع أي من الظواهر: ب1، ب2، ب3ستحدث عندما تحدث الظاهرة «أ». لن تكون هناك حتمية الا في الحالة المضبوطة التي تحدث فيها ظاهرة «ب» واحدة بعينها. وعليه، يبدو من الواضح أن هناك في الفيزياء الكوانتية سببية من هذا النوع خالية من الحتمية. سببية لا تظهر فيها قابلية التوقع الدقيق الا في حالات استثنائية، تلك الحالات التي يطلق عليها منظرو الميكانيكا الجديدة اسم «الحالات الخاصة».

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

هل سيسمح لنا تقدم العلم يوما بإمكانية التوقع التام للظواهر الأولية الفردية، أي

باقرار الحتمية الفيزيائية الصارمة (في الميدان الذري)؟ ليس من الممكن، بطبيعة الحال، الاجابة بيقين عن سؤال من هذا النوع. ولكن يمكن، مع ذلك، ان ندلي ببعض الافكار في الموضوع. لنبدأ أولا بالاشارة الى أن الامر يتعلق هنا بامكانية اعادة محتملة لقابلية التوقع الدقيق للظواهر الأولية. والواقع انه من الممكن دوما افتراض وجود حتمية أساسية في الظواهر المذكورة، حتمية تظل محجوبة عنا لوجودها خارج حدود علمنا وطاقاتنا البشرية. وفي هذه الحالة سنكون أمام فرضية ميتافيزيقية، أمام اعتقاد غيبي. والحتمية بهذا المعنى لن تكون تلك التي يحق للفيزيائي وحده، فيما يبدو لنا، معالجتها، والتي عرفناها قبل بقابلية التوقع الدقيق. ان المسألة المطروحة هي معرفة ما اذا كانت النظرية الفيزيائية تستطيع، عندما تتوفر في المستقبل على المعلومات التي نفتقدها اليوم، وربما أيضا على المفاهيم التي لم تصغ بعد، الحصول على القواعد التي تمكن من التوقع الدقيق للظواهر على المستوى الذري. ان تدخل كوانتوم العمل في ظواهر الفيزياء الميكروسكوبية يقدم لنا، فيما نعتقد، بعض الايضاحات حول هذا الموضوع. ان مفهوم كوانتوم العمل ذاته يستلزم، في الواقع، قيام نوع من الرابطة بين اطار المكان والزمان وبين الظواهر الدينامية التي نحاول موضعتها فيه، رابطة لم تكن موضوع شك في الفيزياء الكلاسيكية.

فإذا أمكن لنظرية مقبلة ان تسمح لنا بالنظر بوضوح اكثر الى المسائل الكوانتية فان ذلك لا يمكن ان يحصل، وهذا لا شك فيه، الا اذا عدلنا بشكل أساسي أفكارنا حول المكان والزمان (بما في ذلك التصورات التي جاءت بها نظرية النسبية) ولكن اذا أمكن انجاز هذه المهمة الصعبة فهل ستسمح بالعودة فعلا الى قابلية التوقع الدقيق لظواهر الميكروفيزياء؟ لا يبدو لنا أن هذا أمر محتمل، لان وصف الملاحظات ونتائج التجربة سيتم بواسطة المعنى العادي لكلمتي زمان ومكان. ويبدو أنه من الصعب جدا ان يكون الأمر على خلاف ذلك. فللوصول الى توقع الظواهر القابلة للملاحظة، وهذا هو هدف النظرية الفيزيائية، لا بد لهذه النظرية نفسها من ان تعود، في لحظة ما الى اطار الزمان والمكان بشكله المعروف. ويبدو انه من المحتمل جدا ان تظهر في ذات اللحظة الارتيابات الكوانتية المرتبطة بوجود كوانتوم العمل، وبالتالي فان التوقعات الممكنة لن تكون دقيقة تماما.

والخلاصة، أنه من الجائز التفكير في أن الفيزياء ستتمكن يوما من العثور على الحتمية الدقيقة في المستوى الميكروسكوبي، تلك الحتمية التي انتجتها دراسة العالم الماكروسكوبي، ولكن بالنظر الى الحالة الراهنة لمعارفنا، فان تقدما من هذا النوع يبدو لي شخصيا احتمالا ضعيفا جدا.»

---

كان هذا هو رأي لوي دوبروي سنة 1941، السنة التي كتب خلالها المقالة التي ترجمنا

معظم فقراتها في هذا النص. ولكنه عاد فيما بعد الى تبني الرأي القائل بإمكانية قيام الحتمية في الفيزياء الذرية وهو الرأي الذي كان ينادي به في بدء عمله العلمي. لقد بدأ لوي دوبروي كأحد انصار الحتمية الكلاسيكية، ثم عدل رأيه بتأثير من مدرسة كوبنهاجن ولكنه عاد في آخر حياته الى القول بالحتمية من جديد انظر كتابه

La physique quantique restera-t-ele indéterministe? Gauthier Villars Paris 1973.

# تطور مفهوم الحتمية (1)

## كالينا مار

يعالج هذا النص وهو البحث الذي شارك به صاحبه (وهو من رومانيا) في المؤتمر الدولي الثاني عشر لتاريخ العلوم المنعقد في باريس خلال شهر غشت (آب) من عام 1968، يعالج تطور مفهوم الحتمية منذ لابلاس الى اليوم مع التركيز على النظرية الكوانتية وعلاقات الارتياب. وهكذا فعلاوة على ان هذا النص يشكل احدى وجهات النظر المعاصرة في موضوع الحتمية، (وجهة نظر ماركسية) فإنه من التركيز والخصوبة بالشكل الذي يجعله صالحا ليكون كمحاولة تركيبية للمناقشات التي تعرفنا عليها في النصوص السالفة حول مشكل الحتمية في الفيزياء المعاصرة.

---

«اذا نظرنا الى الحتمية بوصفها نظرية للحالات المضبوطة وللآليات التي تحدد وتولد مثل هذه الحالات، فإننا نجدها تطرح، من وجهة النظر الفلسفية، النقاش حول العلاقة بين عدة مقولات: العلاقة بين السببية والضرورة، بين القوانين الدينامية والقوانين الاحصائية، بين ما هو ممكن وما هو واقعي. والطريق التي سلكها مفهوم الحتمية في تطوره هي نفس الطريق التي يتكون خلالها الفهم الجدلي المركب لهذه العلاقات والترابطات.

1 - يبدو أن الفصل، خلال القرن العشرين، بين ما هو أساسي وما هو غير أساسي، قد أدى الى قيام اجماع في الرأي بشأن الحتمية الكلاسيكية كما تصورها لابلاس. وكان لابلاس قد تناول الحتمية على المستوى الانطولوجي والمستوى المعرفي.

فمن الناحية الانطولوجية، تقوم حتمية لابلاس على أساس:

أ - وجود «الحالات» وجودا موضوعيا محددا بدقة.

ب - ان الانتقال من حالة الى أخرى انتقال ضروري لزوما، الشيء الذي يعني أن

(1) Calina Mare: Quelques aspects de l'évolution du concept de déterminisme dans la physique. in, XIIe Congrés Internationale D'histoire des Sciences A.P. éd. Blanchard Paris 1970.

الواقعي يحل بكليته محل الممكن وفاقا مع المبدأ القائل: ان كل ما هو ممكن يصبح واقعيا ضرورة.

ج - وجود أسباب تفرض ذلك الانتقال بنفس الضرورة واللزوم.

ولا شك في أن التمييز بين هذه الجوانب يساعد على تبيان الفرق بين قوانين الحالة، وقوانين التطور، ويمكن من التمييز في قوانين التطور هذه بين القوانين التي تخص تتابع الحالات، والقوانين التي تضم، في نفس الوقت، لحظة التحديد السببي لهذا التتابع. وهكذا تضاف الى قوانين التطور الصارمة التي تكتشف بالملاحظة، فكرة القوة التي هي بمثابة النواة السببية التي تفسر الانتقال من حالة الى أخرى(1).

وأما من الناحية المعرفية - الايبستيمولوجية - فإن حتمية لابلاس تقوم على التمييز بين ثلاثة مظاهر في المعرفة:

أ - تحديد الحالات.

ب - تحديد الانتقال من حالة الى أخرى.

ج - الكشف عن الاسباب التي تسبب في هذا الانتقال.

ان هذا التوضيح ضروري لان مختلف أنواع الرفض الجذري للحتمية انما ترجع، اما الى المطابقة بين مستوى الوجود ومستوى المعرفة وهنا يفسر العجز عن الكشف عن بعض التحولات وكذا عن تبين حركية التحديد، بنفي الوجود الموضوعي للتحديد. وأما بالمطابقة بين الحتمية والسببية على العموم من جهة وبين حتمية لابلاس، والكيفية التي فهم بها هذا الاخير العلاقة السببية، من جهة اخرى.

2 - ولكي نتمكن من فهم العلاقة بين السببية والضرورة، بين ما هو دينامي وما هو احصائي، بين ما هو ممكن وما هو واقعي، فهما أكثر دقة، تجدر الاشارة الى أنه لا نظرية الدينامية الحرارية، ولا نظرية النسبية، تجاوزت، في العمق، المفهوم الذي اعطاه لابلاس للحتمية. الشيء الذي عزز لدى الفيزيائيين اعتقادهم بأن تطبيق الحتمية اللابلاسية هذه يكتسى طابع الكلية والشمول.

لقد لجأت أولى النظريات في الدينامية الحرارية الى اعطاء تفسير ذاتي للظواهر الاحصائية، وذلك لأنها كانت واقعة تحت تأثير الاعتقاد في صلاحية الحتمية الكلاسيكية صلاحية كلية، والايمان بالطابع الموضوعي المطلق للقوانين الدينامية. وأما نظرية

(1) نعود فنتذكر هنا بالمعنى الاصطلاحي لكلمة «حالة». ان «حالة» منظومة ما هي عبارة عن القيم التى تحدد موقعها وكمية حركتها (= سرعتها). والمقصود بقوانين الحالة القوانين التركيبية، قوانين المنظومة او البنية كما توجد في فترة زمنية ما.
أما قوانين التطور او (القوانين السببية او القوانين الدينامية او القوانين التكوينية، وكلها بمعنى واحد) فهي تحدد الانتقال من حالة الى اخرى عبر الزمن. هذا وكلمة «التحديد» ومشتقاتها تعني هنا ضبط الموقع والسرعة والتوقع الحتمي للحالة اللاحقة بناء على الحالة الراهنة او السابقة، المترجم.

النسبية، فعلى الرغم من أنها ساهمت بشكل أساسي في تطوير مفهوم السببية وبيان حقيقة العلاقة التي تربط بين الحالات، بادخالها في الحساب السرعات المحدودة، وتأكيدها على استحالة قلب العلاقة السببية عندما يتعلق الامر بالحوادث التي تتتابع في الزمن، فإنها لم تمس الهيكل البنيوي لحتمية بلاس، لأنها أهملت جانب الصدفة والجانب الاحصائي في تفسير الظواهر التي كانت تعني بدراستها.

3 - وعندما بدأت الميكانيكا الكوانتية تطل على أفق الفيزياء، اخذ بريق حتمية لابلاس - التي كانت واضحة كاملة الى درجة تبعث على الشك فيها - يختفي في الضباب، حتى في ميدان الفيزياء نفسها. «نشدد هنا على ميدان الفيزياء لأن الميادين الاخرى - كالبيولوجيا والاجتماع مثلا - قد عرفت أهمية عامل الصدفة بالنسبة للحتمية قبل ذلك بوقت طويل، وذلك في ارتباط مع التفسير الديالكتيكي ولفائدته).

لقد أتضح أولا ان المقادير المتلازمة قانونيا لا تقبل معا القياس الدقيق المتزامن الا بشكل محدود نظرا لعلاقات عدم التحديد الدقيق، الشيء الذي يدل أيضا على محدودية امكانية مد المبادىء الكلاسيكية الى هذا الميدان الجديد، وعلى قصور اللغة الكلاسيكية.

ومن هنا جاء ذلك التكذيب الظاهري لمبدأي السببية والحتمية على العموم، وقد كان يطابق بينهما وبين الحتمية اللابلاسية والسببية الكلاسيكية. ويبدو ان التفسير اللاحتمي للظواهر قد اجتاز مرحلتين:

مرحلة اللاحتمية على المستوى المعرفي حيث كان يؤكد على عجز الذات العارفة عن الكشف عن وجود تحديد كلاسيكي (حتى ولو كان موجودا فعلا) سبب تدخل أدوات القياس، بل وتدخل الذات نفسها.

مرحلة اللاحتمية على المستوى الانطولوجي حيث كان يؤكد على الوجود الموضوعي للاتحدد في مجال الاشياء الميكروسكوبية التي تدل الوقائع على أن سلوكها يختلف عن سلوك النقط المادية في الفيزياء الكلاسيكية.

ان التمييز بين هاتين المرحلتين، بالشكل الذي أبرزناه، يمكن ان ينسحب أيضا على الاسم الذي يطلق على علاقات هاينزبرغ التي يعبر عنها، تارة بعلاقات الارتياب أو علاقات عدم التحديد الدقيق (عندما تبرز فيها لحظة المعرفة) وتارة بعلاقات اللاتحدد (عندما تبرز فيها جوانب الوجود).

ومرد هذا التكذيب الظاهري لمبدأ الحتمية هو أننا ننطلق من فرضية ننسب بموجبها الى الاشياء الميكروسكوبية أبعادا ذات قيم محددة بالضبط تحدد حالتها، أبعادا لا تستطيع تلك الاشياء تحملها بنفس تلك القيم في آن واحد (ولم يكن ينظر الى هذه الأبعاد حتى بوصفها تتعلق بالوسط الفيزيائي الذي يحد مكان وجود الاشياء

الميكروسكوبية).

لقد كان التفسير اللاحتمي للظواهر مصحوبا دوما بأطروحة ذاتوية النزعة، ترى أن القول بعلاقة اللاتحدد ينطوي ضمنياً على قبول وجود حد أقصى للموضوعية لا يمكن أن تتعداه الذات العارفة، نظرا لأنه يستحيل عليها الفصل بين ما يرجع الى المنظومة المادية موضوع الملاحظة، وما يرجع الى ما تضيفه الذات نفسها خلال عملية القياس الذي تقوم به.

غير أن هذا التفسير اللاحتمي الذاتوي النزعة في ميدان الميكانيكا الكوانتيه، لم يكن وحده التفسير الممكن. دليل ذلك أنه خلال العقود التي تلت ظهور التفسير اللاحتمي في فيزياء العالم المتناهي في الصغر، لم تكف التفسيرات المتمسكة بالحتمية عن توطيد أقدامها وتنمية مقولاتها. على أن وجهة نظر القائلين بالحتمية ووجهة نظر القائلين باللاحتمية أخذت بعد ذلك تقترب من بعضها بفضل حوار مثمر ونقاش بناء، مما أدى الى قيام اتجاهات تركيبية ما فتئت تزداد وجاهة ونفوذا.

وقبل أن انتقل الى عرض الحلول التي يقول بها المتمسكون بالحتمية، أحب أن أبرز هنا تطور مدرسة كوبنهاجن نحو:

أ - اقرار التوافق بين مبدأ السببية العام وفكرة التكاملية.

ب - ابراز الجانب الموضوعي في التفاعل الذي يحصل بين المجرب والمنظومة المؤلفة من الموضوع الميكروسكوبي والاداة الماكروسكوبية.

ج - ابراز الفرق بين مستوى الممكن ومستوى الواقعي. الاول يتعلق بامكانيات الموضوع الميكروسكوبي، والثاني يضم، في صيغة تكاملية لا تقبل التفاضل، نتائج التفاعل بين الموضوعات الميكروسكوبية والادوات الماكروسكوبية.

بعد هذا ننتقل الى الاتجاهات المتمسكة بالحتمية المدافعة عن مبدأ التحديد والسببية كمبدأ عام. لقد نشأت هذه الاتجاهات تحت ضغط الحاجة الى الوقوف في وجه مبالغات القائلين باللاحتمية ومن أجل الدفع بالجوانب الايجابية في التأويلات «الرسمية» للميكانيكا الكوانتية، خطوات الى الامام.

وفي هذا الاطار يمكن التمييز بين شكلين أساسيين من أشكال التفسير الذي يعطي القيمة الموضوعية للميكانيكا الكوانتية:

1 - الاول يعتبر المحتوى الموضوعي للميكانيكا الكوانتية صالحا بكامله. إن ممثلي هذا الاتجاه يؤكدون أن الميكانيكا الكوانتية ذات طابع احصائي لا يمكن ارجاعه الى قوانين دينامية، وانها تعكس، بعمق، العلاقات المعقدة القائمة في ميدان العالم المتناهي في الصغر، وان الابحاث التي ستتم في المستقبل لن تعمل الا على تأكيد الطابع الاحصائي الخاص بهذا الميدان. هذا مع العلم بأن القول بأولوية القوانين الاحصائية يرتبط في

الاعم الاغلب بالقول بوجود كثرة من الاسباب هي المسؤولة عن الطابع المتناقض الذي يتصف به مفعول مختلف العوامل المؤثرة في سلوك الموضوعات الميكروسكوبية.

2 - أما الثاني فيعتبر الميكانيكا الكوانتية صالحة فقط في دراسة الجسيمات الأولية كمجموعة، ولا تصلح لدراسة سلوكها الفردي. ولذلك يرى أصحاب هذا الرأي أنه من الضروري انشاء نظرية جديدة تكون فيها الميكانيكا الكوانتية كحالة خاصة ضمن حالات أخرى، نظرية تتجاوز نتائج الميكانيكا الكوانتية وتعمل على تفسير بنية وسلوك الجسيمات الأولية. هؤلاء يقولون بأن وراء القوانين الاحصائية التي تكشف عنها الميكانيكا الكوانتية قوانين دينامية من شأنها اذا اكتشفت أن تفسر السلوك الفردي للاشياء الميكروسكوبية.

3 - هناك موقف وسط، هو موقف أولئك الذين يرون أن الميكانيكا الكوانتية تقتصر على دراسة الاشياء الميكروسكوبية كمجموعات، ولكن دون أن يستنتجوا من ذلك أي شيء، تاركين للباحثين، في المستقبل، مهمة توضيح هذا المشكل الشائك.

جميع هذه الاتجاهات تشترك في الاعتراف بالوجود الموضوعي للسببية عامة، وللحتمية خاصة. واذا نظرنا الى المسألة بعمق وجدنا أن أصحاب الاتجاه الاول يأخذون ما يعتبرونه صالحا في وجهة نظر مدرسة كوبنهاجن فيتبنونه ويوسعونه. وهكذا يرى المسيو فوك V.A. Fok ان معطيات الميكانيكا الكوانتية، وبكيفية عامة معطيات الفيزياء الذرية، من شأنها ان تمدنا بما يكفي من الاسباب التي تحملنا على الاحتفاظ بمحتوى مفهوم السببية والعمل على اغنائه. وهو لا يهمل الا تلك الجوانب الضيقة في حتمية لابلاس. انه يرى أن الميكانيكا الكوانتية كشفت عن ثلاثة مبادىء جديدة تغني قدرتنا على التفسير، مبادىء يجب أخذها بعين الاعتبار في كل نظرية للسببية تريد أن تكون غنية خصبة وهذه المبادىء هي:

أ - ارتباط النتائج ارتباطا نسبيا بأدوات القياس، واعطاء هذا الارتباط معنى موضوعيا بالنظر اليه كتعبير عن تبعية الخصائص الجسيمية الموجية التي تتصف بها الاشياء الميكروسكوبية، تبعيتها للبنية التي تكون عليها الاجهزة التجريبية في آخر مراحل التجريب، أي مرحلة تسجيل المعلومات.

ب - التمييز بين الممكن والواقعي لأن ما يبدو في دائرة الممكن لا يتجلى كله في دائرة الواقعي.

ج - فهم السببية فهما أكثر عمقا وأشد تعقيدا، لان الامر يتعلق بسببية تلعب دورها في ميدان الممكن، وليس فقط في ميدان الحوادث الواقعية المتحققة.....

إن تحديد الأبعاد ( = أو الاحداثيات) الدينامية للحالات التي تأتي كنتيجة، بواسطة الابعاد الدينامية للحالات التي تكون سببا، هو تحديد احصائي دوما. وكمثال على ذلك

نشير الى أنه عندما يحصل « اصطدام » بين جسيمين ميكروسكوبيين فإن الميكانيكا الكوانتية لا تجيب عن هذا السؤال: ما هي الحالة الكلاسيكية « التامة » التي أصبحت لهذين الجسيمين بعد الاصطدام؟ لا تجيب الميكانيكا الكوانتية عن هذا السؤال لأنه ليست هناك مثل هذه الحالة؟ انها تجيب فقط على السؤال التالي: كم هي مرتفعة درجة احتمال عثورنا عقب الاصطدام، وخلال تجربة ما، على مختلف النتائج التي يمكن ان يسفر عنها هذا الاصطدام؟

هنا تطرح مسألة ما اذا كانت الميكانيكا الكوانتية تدرس الاشياء الميكروسكوبية كفرديات أم أنها تدرسها فقط كمجموعات؟

لقد تبين، في المدة الاخيرة، أن الخطوط الفاصلة بين النظرية الكوانتية ونظرية المجموعات قد أخذت تفقد صلابتها، بسبب أن المعلومات المستقاة من المعطيات التجريبية، والمعبر عنها نظريا، تهم في آن واحد، سلوك المجموعات وسلوك الجسيمات الفردية. الاولى على مستوى الواقع، والثانية على مستوى الممكن. ولذلك نرى ان فكرة السيد فوك **V.A. Fok** التي تقول ان العلاقة السببية تكون ذات معنى في ميدان الممكن فقط دون ميدان الواقعي، يجب أن تتم بالفكرة التالية وهي أنه بدون القول بالسببية المتحققة واقعيا لا يمكن القيام بأبحاث في العالم المتناهي الصغر. هذا من جهة، ومن جهة اخرى فإن التأكيد على كون الاحتمال مفهوما أساسيا وأوليا في الميكانيكا الكوانتية يمكن أن يقبل اذا فهمنا منه أنه يشير فقط الى الاهمية الخاصة التي تكتسيها الاحتمالات في فيزياء العالم المتناهي في الصغر، مع العلم بأن لكل احتمال جذور تمتد داخل حالة واقعية ما، ولذلك كان من الخطأ ربط الاحتمال بالتطورات التي تحدث في المستقبل وحدها.

وهكذا نرى أنه بدلا من النظرية المتصلبة، نظرية لابلاس في الحتمية حيث تحمل السببية محمل الضرورة، والواقع محمل الممكن، وحيث يرد ما هو احصائي الى ما هو دينامي، بدلا من ذلك كله، ظهر، على مستوى الميكانيكا الكوانتية، فهم آخر للحتمية أقل تصلبا واكثر مرونة، يبرز الطابع الموضوعي والضروري الذي تكتسيه القوانين الاحصائية، ويكشف عن خطأ المطابقة بين ما هو واقعي وما هو ممكن نظرا لوجود عوامل عرضية، ونظرا كذلك لتأثير السببية في ميدان الممكن.

وأخيرا فان الأجوبة التي يجاب بها على السؤال التالي: كيف يمكن ان نفسر الطابع الاحصائي للميكانيكا الكوانتية، ما زالت تدور، في الوقت الراهن، في دائرة الافتراضات، واكثر هذه الاجوبة متانة هي تلك التي يقدمها اولئك الذين ينتمون بالخصوص الى التيار الذي يطلق عليه اسم « الاتجاه السببي » والذي يوجد على رأسه دوبروي وفيجي **J.P. Vigier** وبوهم **U. Bohm**.

ان فكرة المستويات التي قال بها فيجي وبوهم هي، من الناحية الفلسفية مهمة جدا.

ذلك لان الأمر يتعلق بمستويات يفترض فيها ان القوانين الاحصائية والقوانين الدينامية (التي يطلق عليها كذلك اسم القوانين السببية) تعمل عملها بشكل يجعل من الممكن فهم وتفسير مختلف انواع الانتظام الذي تعبر عنه القوانين الاحصائية، في مستوى اكثر عمقا، مستوى ما تحت الكوانتا **Le niveau subquantique**.

ان ممثلي هذا الاتجاه، عندما يبرزون ان لكل مستوى خصوصية وقوانين واقعية لا يمكن إرجاعها الى مستويات اخرى، قوانين تعبر عن بعض الاطراد وتفسره في الوقت نفسه، ينتهون احيانا الى قبول نتائج وجهة نظر اللاحتمية على المستوى الذي تدرسه الميكانيكا الكوانتية، آملين ان العودة الى النموذج الحتمي ستتحقق في مستوى اخر، مستوى ما تحت الكوانتا.

هل يمكن استخلاص بعض النتائج من هذا العرض السريع الذي قمنا به لمختلف الاتجاهات التي تعتبر، في العمق، مناصرة للحتمية؟

لقد تبين من المناقشة التي قمنا بها ان هناك نقطا تتفق فيها هذه الاتجاهات واخرى تختلف فيها، وذلك على المستويات الثلاثة التي اشرنا اليها اعلاه: محدودية مفاهيم الميكانيكا الكلاسيكية، الطبيعية الاحصائية للظواهر الكوانتية، ثنائية الجسيم - الموجه.

لا احد يعارض اليوم في ان لمفاهيم الميكانيكا الكلاسيكية دائرة محدودة في مجال قابليتها للتطبيق في ميدان الميكانيكا الكوانتية، والمهم في الدرجة الأولى، من الناحية الفلسفية، هو ان تقييد صلاحية المفاهيم الكلاسيكية لتحديد الظواهر لا يدل - في نظري - على نفي كل تحديد للظواهر.

اما على مستوى الميكانيكا الكوانتية فان هذه الاتجاهات تبرز ايضا ان الظواهر محددة باسباب مادية في ظل شروط موضوعية معينة، واذن، فيجب ان نفترض، كما هو الشأن بالنسبة للنظرية الاحتمالات على العموم، وجود اسباب تحدد سلوك الجسيمات الاولية، سلوكها المترجرج (غير القابل للتحديد الدقيق) وسلوكها الثابت القابل للتحديد الدقيق.

ان جميع الفيزيائيين والفلاسفة الماديين يبرزون الطابع الموضوعي لحساب الاحتمالات، مثلما يبرزون الطابع الموضوعي للقوانين الاقتصادية التي يسري مفعولها في العالم المتناهي في الصغر، وهم يعترفون بان السببية تكتسي، في هذا الميدان، طابعا معقدا جدا، اكثر مما هو عليه الحال في ميدان العالم البشري، عالم الاشياء الكبيرة. هنا، في ميدان العالم المتناهي في الصغر، يمكن لمجموعة من الظروف ان تؤدي - او لا تؤدي - الى حدوث الظاهرة، ولكن حدوثها او عدم حدوثها له اسباب موضوعية لا يمكن الاعتراض عليها.

هل يمكن ان نبرز من خلال الظواهر هذه السببية الكامنة في سلسلة التفاعلات المعقدة؟

ان انصار النظرية القائلة بالاحتمال يرون ان الفصل بين الظاهرة والسبب شيء لا يمكن القيام به. ذلك لأن الفصل، في الميكانيكا الكوانتية بين الضروري والعرض شيء متعذر، وبالتالي فان عزل الظاهرة شيء متعذر كذلك. فسلوك الجسيات الاولية سلوك احصائي، ولذلك كان التوقع احتماليا فقط. ان الشكل الاحصائي الذي تظهر فيه السببية لا يلغي السببية، بل يبرز فقط المفهوم الديالكتيكي للترابط العام على صعيد الكون كله، اي استحالة عزل الموضوع الميكروسكوبي عن محيطه. ان العلاقات السببية، لا تظهر، في المستوى الخاص بالميكانيكا الكوانتية بشكل بسيط ومباشر، بل بصورة غير مباشرة.

أما بالنسبة لانصار النظرية القائلة بالسببية فهم يرون ان السبب الذي يحدث الظاهرة أساسي في هذه الظاهرة نفسها، ولذلك كانت العلاقة السببية اساسية في فهم الظواهر، لأنها ناتجة عن التفاعل العام بين حوادث الكون. وبطبيعة الحال يجب ان نفهم السببية فهما مرنا يفرضه الحضور الدائم للعلاقات الكونية العامة حيث تحتفظ الصدفة هي ايضا بدور هام.

وأما اولئك الذين يعتبرون نظرية الكوانتا نظرية نهائية ويرفضون بالتالي فكرة البرامترات «الخفية» فان رأيهم هذا غير مبرر، في نظرنا من الناحية الفلسفية. ان تاريخ العلم يدلنا على ان النظرية، اية نظرية لا بد ان تنكشف حدودها، آجلا او عاجلا، ولا بد ان تكمل وتعدل او تعوض بنظريات اخرى اكثر متانة.

انه لمن الصعب افتراض ان الواقع، على المستوى الميكروسكوبي سيبقى دوما بالتحديد واقعا احصائيا، وانه لا يمكن العثور على مستويات - في هذا الواقع نفسه - تسمح بابراز علاقات سببية اساسية او جملة من العلاقات الدينامية».

# العلم واقتصاد الفكر (١)

## ارنيست ماخ

تنتسب مختلف التيارات الوضعية الجديدة الى العالم الفيزيائي الألماني ارنيست ماخ ونزعته الظاهراتية. وينتسب ماخ نفسه الى بركلي لماديته المشهورة، كما شرحنا ذلك في الفصل الرابع من القسم الاول من هذا الكتاب. ويلخص النص الذي نترجمه هنا آراء ماخ في هذه الصدد: فبما ان الانسان لا يمكنه ان يعرف سوى انطباعاته الحسية، فان ما نسميه «الشيء» او «الموضوع» ليس بالنسبة الينا سوى مجرد مركب من الاحساسات، فهو رمز للاحساسات، لا العكس. واذن فمهمة العلم، ليس الاطلاع على حقيقة العالم الواقعي كما هي بل فقط اقتصاد الفكر، اي تجميع الانطباعات الحسية في صور ومركبات ذهنية، وادماج هذه الصور الذهنية بعضها في بعض بواسطة القوانين (أي العبارات الرياضية) واختزالها في اقل عدد ممكن من المبادىء يسهل تداولها ونقلها من جيل لاخر. فالعلم اذن لغة تختزل الاحساسات وتقتصد الفكر. وقد استخلصت التجريبية المنطقية (مدرسة فيينا وفروعها) النتيجة المنطقية لهذا التصور. فقالت ان موضوع الفلسفة هو التحليل المنطقي للغة العلم كما شرحنا ذلك في المدخل العام الذي صدرنا به الجزء الاوّل من هذا الكتاب. وقد تبنت نزعات وضعية اخرى، في ميدان العلم ذاته، وجهة نظر ماخ، فانشأت تصورات عن المعرفة العلمية وضعية تماما، اي تقصر المعرفة العلمية على ميدان الظواهر والقياس كما سنرى في النصوص المقبلة.

---

«1 - ان ما يرمي اليه العلم، اي علم، هو استبدال التجارب بنسخ ذهنية وتصورات للحوادث، واختزانها في الفكر. والنسخة اكثر مرونة، في الواقع، من التجربة نفسها، ويمكن ان تقوم مقامها من عدة نواح. ان هذه الوظيفة الاقتصادية التي تعم كيان العلم باجمعه تتجلى اولا، وبوضوح، في البيانات والبراهين العامة. واكتشاف هذا

(1) E. MACH. La Mécanique. Texte rapp. par Blanché: La méthode experimentale et la philosophie phisique P. 206–209.

الطابع الادخاري للعلم يزيل من الميدان العلمي، في نفس الوقت، كل مسحة صوفية. ونحن عندما ننشر العلم بواسطة التعليم انما نهدف الى نقل تجارب الاخرين الى المتعلم، وتمكينه من اقتصاد بعض التجارب. والكتب التي تزخر بها الخزانات تنقل، هي الأخرى الى الاجيال اللاحقة تجارب الاجيال السابقة وتوفر عليها عناء القيام بتلك التجارب. واللغة التي هي وسيلة هذا النقل هي، بطبيعة الحال، عامل في عملية الادخار هذه، فلا تتم عملية النقل هذه الا بتجزئة التجارب وتفكيكها الى عناصر بسيطة وتحويلها الى رموز تتحقق بواسطتها عملية النقل تلك، وهذا ينتج عنه دوما التضحية بالدقة الى حد ما..

2 - عندما ننشيء في اذهاننا نسخة عن ظاهرة ما، فاننا لا ننشئها انطلاقا من الظاهرة ككل، بل انطلاقا من جوانبها التي تبدو لنا اكثر اهمية، يوجهنا في ذلك هدف معين، هو نتيجة مباشرة او غير مباشرة لفائدة عملية نتوخاها..اضف الى ذلك ان تلك النسخ هي دوما تجريدات وهنا ايضا يمكن ان نلمس نفس الميل الى الاقتصاد.

تتألف الطبيعة من عناصر تمدنا بها الحواس. والرجل البدائي يدرك، اولا وقبل كل شيء، بعض المركبات المكونة من هذه العناصر والمتمتعة باستقرار نسبي والتي تكتسي بالنسبة اليه اهمية ما. واقدم الكلمات هي اسماء لـ«أشياء». وفي عملية التسمية هذه يمكن ان ندرك بسهولة كيف اننا نغض الطرف عما يحيط بالشيء الذي نعطيه اسماً، وكيف اننا نهمل التغيرات الدقيقة التي تلازم ذلك المركب (= الشيء) لكونها تبدو لنا اقل اهمية. اما في الطبيعة فلا شيء فيها يبقى هو هو بدون تغيير. ان الشيء تجريد، والاسم رمز لمركب من العناصر لا يهتم بالتغيرات التي تلازمه. ونحن نطلق على المركب باجمعه كلمة او نرمز اليه برمز وحيد، عندما نكون في حاجة الى استحضار جميع الانطباعات التي تؤلفه، دفعة واحدة، ولا نوجه انتباهنا الى التغيرات التي تلازمه الا فيما بعد، عندما نرتفع الى درجة اعلى (= من البحث). وهنا يصبح من المستحيل، بطبيعة الحال، الاحتفاظ بمفهوم الثبات واللاتغير. واذا حاولنا ذلك وجدنا انفسنا امام مفاهيم فارغة ومتناقضة مثل مفهوم «الشيء في ذاته». وليست الاحساسات «رموزا للاشياء»، بل بالعكس من ذلك، فالشيء رمز ذهني لمركب من الإحساسات يتمتع باستقرار نسبي. وليست الاشياء (الموضوعات والاجسام) هي التي تشكل العناصر الحقيقية للعالم - بل ان هذه العناصر هي الالوان والاصوات والضغوط اللمسية والامكنة والازمنة.

وتلك عملية اقتصادية محض. ذلك لاننا نأخذ نسخ الاشياء من المركبات التي نالفها والتي تتمتع اكثر من غيرها بالاستقرار، ثم نضيف اليها، فيما بعد، وعن طريق التصحيح، المركبات التي ليست مألوفة لدينا، ولا معتادة. فاذا تحدثنا مثلا عن اسطوانة مفرغة او عن مكعب مسطح الزوايا، واخذنا هاتين العبارتين بمعناهما الحرفي وجدناهما تتضمنان تناقضا، الا اذا نظرنا الى الامور من خلال وجهة النظر التي عرضناها اعلاه. وهكذا

فجميع الاحكام هي توسيع لنطاق تصور سابق او تصحيح له.

3 -عندما نتحدث عن الاسباب والنتائج، فاننا نبرز، بكيفية تعسفية، في النسخة الذهنية التي كوناها لانفسنا عن ظاهرة ما، الظروف التي تتسلسل، حسب تقديرنا، وفي الاتجاه الذي يكتسي اهمية بالنسبة لنا. اما في الطبيعة، فليست هناك اسباب ولا نتائج. ان الطبيعة لا تكون حاضرة الا مرة واحدة. اما تكرار الحالات المتشابهة حيث ترتبط الظاهرة «أ» بالظاهرة «ب» دائما، اي حيث ترتبط النتائج المتشابهة بالظروف المتشابهة، وهذا يشكل ما هو اساسي في علاقة السبب بالنتيجة، فذلك شيء لا يوجد الا في العمليات التجريدية التي نقوم بها قصد استنساخ الظواهر في الفكر. ولذلك، فبمجرد ما يصبح الشيء مألوفا لدينا، لا نعود في حاجة الى ابراز تسلسل الخصائص ولا الى توجيه انتباهنا الى ما سيحدث من جديد، ولا الى الكلام عن السبب والنتيجة. اننا نقول، في بداية الأمر، ان الحرارة هي سبب قوة انتشار البخار، ولكن بمجرد ما نألف العلاقة بين الحرارة والبخار، نتصور مرة واحدة، البخار وحرارته وشدته، تماما كما هو الشأن بالنسبة للحامض الذي ننظر اليه، اول الأمر، كسبب لاحمرار لون تباع الشمس (= التورنوسول). نتعمد، فيما بعد، الى ادراج هذا التغيير في اللون ضمن خصائص الحامض.

4 - واذا نظرنا تفاصيل العلم او جزئياته تجلى لنا طابعه الاقتصادي بوضوح اكثر. ان العلوم الوصفية تقتصر، تقريبا، على وصف الحوادث الجزئية، وابراز الخصائص المشتركة بين عدة ظواهر، دفعة واحدة، عندما يكون ذلك ممكنا. اما في العلوم التي بلغت درجة اعلى من التطور فاننا نلجأ الى صياغة قواعد بناء عدد اكبر من الحوادث في قانون وحيد. فبدلا من ان نسجل مثل مختلف حالات انكسار الضوء حالة فحالة يمكننا احداث هذه الحالات وتوقعها جميعا عندما نعلم ان الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنكسروالعمود النازل على نقطة بداية الانكسار توجد كلها على مستوى واحد وان $\frac{\text{جاك}}{\text{جاس}} = \text{ن}$[1] . وهكذا، فبدلا من النظر الى ما لا يحصى من ظواهر الانكسار من زوايا مختلفة وفي اوساط متباينة[2] لا نحتاج الا الى ملاحظة قيمة «ن» في العلاقة السابقة، وفي ذلك سهولة لا تقدر، والميل الى الاقتصاد واضح هنا وبديهي. هذا في حين انه لا يوجد في الطبيعة قانون للانكسار، بل توجد فقط حالات لا تحصى من هذه الظاهرة. ان قانون الانكسار طريقة للبناء، وجيز ومختصر، صنع بالشكل الذي يجعله في متناولنا، ويخص فقط الجانب الهندسي في الظاهرة.

5 - والعلوم التي تتصف بهذا الطابع الاقتصادي المتطور هي تلك التي لا تهتم الا

---

(1) ذلك هو قانون انكسار الضوء كما صاغه ديكارت.

(2) المقصود بالزوايا هنا زوايا السقوط، وبالاوساط (جمع وسط) المادة التي يحصل فيها الانكسار: ماء، هواء... الخ.

بالظواهر القابلة لأن تجزأ الى عدد قليل من العناصر تقبل ان يعبر عنها بالاعداد. وذلك مثل علم الميكانيك الذي لا يهتم الا بالمكان والزمان والكتلة والعلوم التي من هذا النوع تستفيد مما يتحقق مسبقا من الاقتصاد في الرياضيات.

6 - وتقدم لنا الفيزياء امثلة كثيرة عن اقتصاد الفكر، وتكفي الاشارة الى بعضها...

يجب القول، اذن، انه لا وجود لنتائج علمية، كان يمكن الحصول عليها، مبدئيا، بدون مساعدة منهج. وبما ان الحياة قصيرة والعقل البشري محدود بحدود ضيقة، فان المعرفة الجديرة بهذا الاسم لا يمكن تحصيلها بدون اقتصاد في الفكر واسع. والعلم نفسه يمكن اعتباره، إذن، عبارة عن مشكل الحد الأدنى، مشكل يتلخص في عرض الحوادث عرضا واضحا بقدر الامكان، بواسطة اقل نفقة فكرية».

# اللاحتمية ومفهوم « الواقع »[1]
# وجهة نظر الوضعية الجديدة

هايزنبرغ

مدرسة كوبنهاجن التي تزعمها بور، وكان هيزنبرغ، صاحب النص، احد اقطابها، مدرسة وضعية تماما. فعلاوة على انها تصر على استحالة معالجة الظواهر الذرية بواسطة مفهوم الحتمية نظرا لعلاقات الارتياب، فهي تتخذ الطابع الاحتمالي للظواهر الكوانتية اساسا لنظرية تنكر اضفاء الوجود المادي الواقعي على الجسيمات الذرية. ان « الواقع » في ميدان الذرة يختلف في نظرها عن الواقع في ميدان الظواهر التي تعالجها الفيزياء الكلاسيكية. لأن مدلول كلمة « واقع » في هذا الميدان لا ينطبق على الظواهر الذرية. وكما هو واضح من النص، تلجأ الوضعية الجديدة في الدفاع عن وجهة نظرها الى تحليل اللغة، كان الوجود الواقعي يتوقف فقط على المفاهيم اللغوية. وذلك مظهر من مظاهر الاستغلال الايديولوجي للعلم.

---

**« يتفق جميع اولئك الذين يعارضون وجهة نظر مدرسة كوبنهاجن في النقطة التالية: انهم جميعا ينادون بالرجوع الى التصور الفيزيائي الكلاسيكي للواقع. وبعبارة فلسفية اعم ينادون بالرجوع مجددا الى النزعة المادية التي تضفي وجودا انطولوجيا على الواقع. انهم يدعون الى القول من جديد بعالم موضوعي واقعي تتمتع فيه اصغر الجسيمات الاولية بنفس الوجود الموضوعي الذي ننسبه الى الاحجار والاشجار، سواء كنا نلاحظها او لم نكن.**

**بيد ان هذا مستحيل، او على الاقل ليس ممكنا تمام الامكان، نظرا لطبيعة الظواهر الذرية.. ان مهمتنا ليست في ابداء متمنيات حول ما يجب ان تكون عليه الظواهر الذرية، بل انها تنحصر في محاولة فهم هذه الظواهر....**

---

(1) W. Heisenberg: Physique et philosophie 1959.

هناك جملة من الاعتراضات تستند الى فكرة « البرامترات »[1]، الفكرة التي تقول: بما ان قوانين الميكانيكا الكوانتية لا تحدد، على العموم نتائج التجربة الا بصورة احصائية، فانه لا بد من القول - وفاقا مع وجة النظر الكلاسيكية - بوجود برامترات خفية تستعصي على الملاحظة اثناء التجربة، وهي التي تحدد نتائج هذه التجربة تحديدا سببيا بالطريقة المعتادة. ولهذا السبب نجد بعض المقالات تحاول ادخال برامترات من هذا النوع في الميكانيكا الكوانتية.

من ذلك مثلا، الرأي المخالف لوجهة نظر مدرسة كوبنهاجن والذي ادلى به مؤخرا السيد بوهم **Bohm** وقد تبناه السيد لوي دوبروي من بعض الوجوه.... يرى بوهم ان الجسيمات الاولية عبارة عن بنيات ذات وجود « واقعي موضوعي » مثلها في ذلك مثل الكتلة في ميكانيكا نيوتن. ونفس الشيء يقوله عن الموجات في « المكان التصوري » **L'espace de configuration** فهو يرى انها ذات وجود « واقعي موضوعي » مثلها في ذلك مثل المجال الكهربائي. ومعلوم ان « المكان التصوري » مكان ذو ابعاد كثيرة، تعبر عنها مختلف الاحداثيات الخاصة بجميع الجسيمات الاولية التي تضمها منظومة معينة. وهنا نصطدم مع اولى الصعوبات: فماذا نعنيه بالضبط عندما نقول عن الموجات في « المكان التصوري » انها « واقعية »؟ ان « المكان التصوري » مكان موغل في التجريد. وكلمة « واقعي » تعني في الاصل اليوناني « شيء »، والاشياء توجد في المكان العادي ذي ثلاثة ابعاد ولا توجد في مكان تصوري مجرد. نعم يمكن ان نقول عن هذه الامواج انها « موضوعية » عندما نعني بذلك انها امواج لا تتوقف على اللاحظ. ولكن لا يمكن قط التعامل معها كـ « واقع »، اللهم الا اذا كنا مستعدين لادخال تغيير في مدلول هذا اللفظ.

ويحدد بوهم، بعد ذلك، المسارات المكنة للجسيمات الاولية بالمنحنيات العمودية على المساحات ذات « الطور الثابت »[1] **Phase Constante** ومعرفة اي من هذه المنحنيات يشكل المسار « الواقعي » للجسيم تتوقف في نظره على تاريخ المنظومة وعلى انه القياس الشيء الذي لا يمكن البت فيه الا بعد ان نعرف عن المنظومة وان القياس اكثر مما يمكن معرفته عنها بالفعل. ان ماضي المنظومة يشتمل فعلا على برامترات خفية من جملتها « المسار الفعلي » الذي كانت تسلكه الجسيمات قبل البدء في التجربة..

ان لغة بوهم في الفيزياء... لا تدل على اي شيء يناقض ما تقول به مدرسة كوبنهاجن. والمسألة الوحيدة هي ما اذا كانت لغته مناسبة... وهكذا فعلاوة على

---

(1) البرامتر Paramètre هو المتغير الوسطي الذي تحدد بقيمته قيم متغيرات اخرى. والمقصود بالبرامترات في سياق النص العناصر الخفية المجهولة اهملتها معادلة علاقات الارتياب، مما نشأ ذلك الطابع اللاحتمي للظواهر الذرية. المترجم.

(1) الطور في الفيزياء هو المقدار الذي يمكن من الكشف عن « حالة » منظومة تتذبذب بالنسبة لمنظومة اخرى. المترجم.

الاعتراض الذي سبق الادلاء به والذي يرى ان الحديث عن مسارات الجسيات الاولية هو نوع من الانشغال بـ« بنية فوقية ايديولوجية » لا فائدة فيها، تجب الاشارة هنا، بكيفية خاصة، الى ان نوع اللغة التي يستعملها بوهم يقوض التماثل **La symétrie** الذي تقيمه الميكانيكا الكوانتية ضمنيا بين موقع الجسيم وسرعته. فاذا كان بوهم يقبل التفسير العادي بخصوص قياس الموقع فانه يرفض هذا التفسير نفسه بالنسبة لقياس السرعة او كمية الحركة. وبما ان خصائص التماثل تشكل دوما المميزات الاساسية للنظرية، فانه من الصعب تبيان ما نربحه عندما نرفض تلك الخصائص في اللغة التي نتحدث بها عن هذه النظرية. ولذلك لا يمكن النظر الى هذا الاقتراح الذي يعارض به بوهم وجهة نظر مدرسة كوبنهاجن كتعديل للتفسير الذي تقدمه هذه المدرسة...

واخيرا فان الانتقادات التي وجهها الى مدرسة كوبنهاجن كل من اينشتين وفون لو وآخرون في مقالات عديدة، تتركز كلها حول مسألة ما اذا كانت وجهة نظر مدرسة كوبنهاجن تقدم لنا وصفا موضوعيا وحيدا للظواهر الفيزيائية. ويمكن عرض حججهم الاساسية كما يلي: ان الصيغة الرياضية للنظرية الكوانتية تقدم لنا وصفا مناسبا تماما للجانب الاحصائي في الظواهر الذرية. ولكن، حتى ولو كانت العبارات التي تتحدث عن المظهر الاحتمالي للظواهر الذرية صحيحة تماما، فان التفسير الذي تقدمه لنا مدرسة كوبنهاجن لا يصف ما يجري فعلا، خارج مدة الملاحظة، او خلال الفترة الزمنية التي تفصل الملاحظات بعضها عن بعض. نعم يجب ان يجري شيء ما خلال ذلك، هذا ما لا شك فيه، ولكن هذا الذي يجري ليس من الضروري تحديده بواسطة الالكترون او الموجة او الكوانتا الضوئية. وما دام هذا الذي يجري لم يحدد بشكل او بآخر، فان مهمة الفيزياء تظل قائمة. ولا يمكن ان نقبل ان المسألة لا تتعلق الا بفعل الملاحظة. ففي العلم يجب على الفيزيائي ان ينطلق من التسليم بانه يدرس عالما لم يصنعه هو بنفسه وان هذا العالم سيبقى كما هو اساسا، اذا غاب العالم الفيزيائي. وبالتالي فان وجهة نظر مدرسة كوبنهاجن لا تمدنا بتفسير كامل للظواهر الذرية.

واضح ان ما يطالب به هذا الاعتراض هو الرجوع مجددا الى التصور القديم، التصور الذي يعطي للواقع وجودا ماديا انطولوجيا. فماذا يمكن ان تجيب مدرسة كوبنهاجن ؟

يمكننا ان نقول: ان الفيزياء جزء من العلم، وانها، بهذا الاعتبار ترمي الى وصف الطبيعة وفهمها. والفهم، مهما كان، سواء كان علميا او غير علمي، يتوقف على اللغة التي بها نتبادل الافكار. ووصف الظواهر او التجارب او نتائج هذه التجارب يعتمد بدوره على اللغة باعتبارها الوسيلة الوحيدة للتواصل. والكلمات التي تتألف منها اللغة تعبر عن المفاهيم المستقاة من الحياة اليومية تلك المفاهيم التي يمكن ان تنقح، في اللغة العلمية لتصبح مفاهيم علمية صالحة للتعبير عن المعطيات التي تدرسها الفيزياء

الكلاسيكية، فتصبح بالتالي ادواتنا الوحيدة التي تمكننا من تبادل الافكار، بدون لبس ولا غموض، حول الظواهر وتنظيم التجارب وما يستخلص منها من نتائج.

وهكذا فاذا طلبنا من العالم الذي يبحث في ميدان الذرة ان يعطينا وصفا لما يجري فعلا خلال تجاربه، فانه من الضروري ان ينتبه الى ان كلمات «وصف»، و«جرى»، و«فعلا» لا يمكن ان تعبر الا عن المفاهيم المتعلقة بالحياة اليومية او بالفيزياء الكلاسيكية. واذا ما حاول هذا الباحث التخلي عن هذه المفاهيم فانه قد لا يجد الوسيلة التي تمكنه من التعبير عن هذه المفاهيم فانه قد لا يجد الوسيلة التي تمكنه من التعبير بدون صعوبة ولا لبس، كما انه قد لا يستطيع متابعة ابحاثه العلمية. والنتيجة هي ان اي تصريح يدلي به حول «ما يجري فعلا» لا بد ان يكون بواسطة المفاهيم الكلاسيكية، وبالتالي سيكون - بسبب قوانين الديناميكا الحرارية وعلاقات الارتياب - ناقصا في ذاته، عندما يتعلق الامر بالظواهر الذرية. ذلك لأن عبارة «وصف ما يجري» بين ملاحظتين متتاليتين، على صعيد الظواهر الكوانتية عبارة تنطوي على تناقض ذاتي، لأن كلمة «وصف» هذه بالمفاهيم الكلاسيكية في حين ان هذه المفاهيم لا يمكن ان تعبر على «ما يجري» بين ملاحظتين، بل فقط على ما يجري حين الملاحظة.

ومن هنا يتضح ان الطبيعة الإحصائية لقوانين الفيزياء الميكروسكوبية امر لا يمكن تجنبه ولا التغلب عليه. ذلك لأن اية معرفة بـ«الواقع» هي - بسبب القوانين الكوانتية - معرفة ناقصة في ذاتها. ان النظرة المادية التي تنسب وجودا - انطولوجيا - ماديا للظواهر ترتكز على فكرة خاطئة: وهي ان الوجود الانطولوجي او «الواقعية» المباشرة التي ننسبها للظواهر المحيطة بنا - في العالم الماكروسكوبي - يمكن تمطيطه ليشمل الحوادث على المستوى الذري وهذا شيء مستحيل».

# تكاملية بور[1]

## نييلس بور

ندرج فيما يلي مجموعة النصوص للفيزيائى الكبير نييل بور، زعيم المدرسة الايبستيمولوجية الوضعية المعروفة باسم مدرسة كوبنهاجن ان ما يميز هذه المدرسة هو دفاعها المستميت عن اللاحتمية في العلم وابراز دور القياس وأدواته في تشكيل نتائج التجربة. واذا كان هذا يشكل أحد المعطيات العلمية في مرحلة معينة من تطور العلم، واذا كانت المعرفة العلمية، في الميدان الميكروسكوبي خاصة، تكتسي طابعاً احتماليا، مما يجعلها معرفة نسبية احصائية، فانه من المفارقات العجيبة أن تصير مدرسة كوبنهاجن على أن هذا الطابع الاحتمالي النسبى يكتسي صبغة الحقيقة النهائية. أما نييلس بور فهو الى جانب دفاعه عن المقولات الاساسية التي تعتمدها مدرسة كوبنهاجن في ميدان المعرفة العلمية على المستوى الميكروسكوبي، لم يتردد في مد وتمطيط بعض المفاهيم الفيزيائية الحديثة الى ميادين أخرى بيلوجية وسيكولوجية واجتماعية وحضارية كما سنرى في النصوص الملحقة بالنص الأساسي. لقد اتخذ من مفهوم «التكاملية» مفتاحا لجميع المشاكل، مفتاحا يعترف بالتناقض ولكنه يجمده في «التكامل».

---

إن ما يميز النظرية الكوانتية هو انها جرت، بشكل أساسي، من صلاحية مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية في معالجة الظواهر الذرية، الشيء الذي نتج عنه وضع خاص، بعض الشيء، يتمثل في تلك الصعوبة التي تعترضنا عندما نحاول التعبير عن محتوى هذه النظرية بالمفاهيم الكلاسيكية التي يتوقف عليها، أساسا، فهمنا لمعطيات التجربة. ومع ذلك، يبدو أنه من الممكن - كما سنرى فيما بعد - التعبير عما هو أساس في هذه النظرية بواسطة «المسلمة الكوانتية» التي تنص على أن جميع العمليات والتطورات التي تتم في العالم الذري تكتسي طابع المنفصل أو على الاصح، طابع الفردية. وهو طابع لم تعرفه قط النظريات الكلاسيكية، ويتميز بتدخل كوانتوم الفعل الذي اكتشفه بلانك.

---

(1) انظر في آخر كل نص المصدر الذي اخذناه منه.

ان هذه المسلمة تضطرنا الى التخلي عن تطبيق السببية والتحديد المكاني - الزماني مجتمعين، في آن واحد، عندما نريد وصف الظواهر الذرية. ومعلوم أن وصف الظواهر الطبيعية، كما اعتدنا أن نقوم به، يعتمد في نهاية التحليل، على اعتقادنا في أن عملية الملاحظة لا تغير في شيء جوهر الظاهرة التي ندرسها. والنظرية النسبية التي ساهمت بشكل واسع في اضفاء مزيد من الوضوح والدقة على النظريات الكلاسيكية قد عملت من جهتها على تأكيد هذا الاعتقاد. فاذا كان اينشتين قد لاحظ أن أى قياس أو ملاحظة نقوم بها، يتوقفان على تزامن الحوادث، أى حدوث حادثين مستقلين في نقطة واحدة من المكان - الزمان، فان تزامن الحوادث هذا لا يؤثر فيه ما قد يكون هناك من اختلاف بين الملاحظين في تقدير الزمان والمكان.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى تنص المسلمة الكوانتية على أن أية ملاحظة نقوم بها في الظواهر الذرية، لا بد أن تؤدي الى نوع من التداخل والتفاعل بين الظاهرة المدروسة وأدوات القياس، وبالتالي يصبح من غير الممكن اعتبار الظواهر وأدوات القياس كأشياء تتمتع بوجود واقعي فيزيائي مستقل، بالمعنى العادي للكلمة. والواقع أن مفهوم الملاحظة ينطوي على عنصر اعتباطي. ذلك لانه يتوقف أساسا على اختيار موضوعات يعتقد فيها أنها تشكل جزءا من المنظومة موضوع الملاحظة والدرس. اضف الى ذلك أن الملاحظة، أية ملاحظة، ترتد، في نهاية التحليل، الى ادراكاتنا الحسية. وبما أن تأويل الملاحظات، اعطاءها تفسيرا ما، يتطلب دوما استعمال مفاهيم نظرية، فان اختيار لحظة معينة دون غيرها، اثناء وصفنا للظواهر، اللحظة التي ندرج خلالها مفهوم الملاحظة ومعه ذلك التصور «اللامعقول» المرتبط بالمسلمة الكوانتية، انما يخضع للظروف الملائمة التي تختلف من حالة الى أخرى.

يلزم مما تقدم نتائج مهمة. فمن جهة، لا بد عند تحديد حالة منظومة فيزيائية، بواسطة المفاهيم العادية، من غض الطرف عن كل تدخل خارجي. وهذا بالضبط، ما يؤدي، طبقاً لمقتضيات المسلمة الكوانتية، الى القضاء قضاء مبرما على كل امكانية للملاحظة، وبالخصوص الى افراغ المكان والزمان من معناه المباشر. ومن جهة اخرى لا بد من التسليم بوجود تفاعل بين المنظومة المدروسة وأدوات القياس المتخصصة - وهي لا تشكل جزءاً من تلك المنظومة - لكي تصبح التجربة ممكنة. وهذا بالضبط ما يجعل من المستحيل علينا، سبب طبيعة الاشياء نفسها، اعطاء تعريف وحيد الدلالة لحالة تلك المنظومة، وهذا أيضا ما يجعل السببية، بمعناها العادي تصبح غير ذات موضوع.

واذن فنحن ملزمون، ازاء هذه النتائج، باجراء تعديد جذري على فهمنا للعلاقة بين الوصف المكاني - الزماني وبين السببية. ان الوصف المكاني - الزماني ( = أي التحديد في الزمان والمكان) من جهة والسببية من أخرى، يرمزان بالتتابع الى ما يعطي لكل من الملاحظة والتحديد صورتها النموذجية. ومعلوم أن الجمع بينهما خاصية مميزة

للنظريات الكلاسيكية هذا في حين أن جوهر النظرية الكوانتية نفسها يفرض علينا الاكتفاء فقط بالنظر اليها بوصفها مظهرين متكاملين، وفي ذات الوقت ينفي أحدهما الاخر. إنهما مظهران يتكامل بهما تصورنا للنتائج التجريبية.

وهكذا فاذا كان حدسنا للظواهر، وهو يعتمد في آن واحد على مبدأ السببية والتحديد المكاني - الزماني، حدس مكيف مع هدفه، فان النظرية الكوانتية قد كشفت لنا عن أن السبب في ذلك أنما يرجع الى ضآلة تأثير كوانتوم الفعل اذا ما قيس بأنواع التأثيرات الاخرى التي تفعل فعلها في ادراكاتنا الحسية العادية، تماما مثلما أن نظرية النسبية قد كشفت لنا عن ان ذلك الفصل التام الذي تقوم به حواسنا بين الزمان من جهة، والمكان من جهة ثانية انما يرجع بدوره الى ضآلة السرعات النسبية العادية بالقياس الى سرعة الضوء.

نخلص مما تقدم الى ان وصف الظواهر الذرية حسب مقتضيات المسلمة الكوانتية، يتطلب منّا انشاء «نظرية تكاملية» تعالج فيها مسألة عدم التناقض بمواجهة امكانيات التعريف مع امكانيات الملاحظة. ان هذا التصور التكاملي يفرض نفسه ايضا في مجال آخر يبرز فيه الطابع المزدوج للظواهر قبل بروزه في ميدان الكوانتا. نقصد بذلك الضوء والجسيمات المادية الاولية. لقد سبق للنظرية الكهرطيسية أن قدمت وصفا مرضيا لانتشار الاشعة الضوئية في الزمان والمكان، كما تمكن مبدأ تراكب الامواج من تفسير ظواهر التداخل في الفراغ والخصائص الضوئية للمادة، سواء بسواء، تفسيرا واضحا شاملا. غير ان التعبير الدقيق عن حفظ الطاقة وعن ذبذبات التداخل بين المادة والاشعاع كما ظهرت في الظاهرة الضوئية الكهربائية وفي مفعول كامتون، استلزم اللجوء الى فكرة الفوتون كما صاغها اينشتين. هذا التناقض الظاهري ( = بين التفسير بالاتصال والتفسير بالانفصال) أدى، في وقت من الاوقات، الى اثارة الشكوك حول مبدأ التراكب، وحول صحة نظريات الطاقة والدفع. ولكنها شكوك سرعان ما تبددت بفضل التجارب المباشرة

لقد اثبتت هذه التطورات استحالة وصف الظواهر الضوئية وصفا يعتمد في آن واحد، السببية والتحديد المكاني - الزماني. ان المسلمة الكوانتية تفرض علينا الاقتصار على الوصف الاحصائي عندما ندرس قوانين انتشار النشاط الاشعاعي في المكان والزمان. أما اذا أردنا تطبيق مبدأ السببية على الظواهر الضوئية الفردية، فان كوانتوم الفعل الملازمة لهذه الظواهر، يفرض علينا، بالعكس من ذلك، التخلي عن التحديد المكاني - الزماني، والأمر هنا لا يتعلق أبداً بالاختيار بين شيئين مستقلين: أما السببية، وأما التحديد الزماني - المكاني، كلا، فالمسألة بالعكس من ذلك تماماً، فالتصور الموجي والتصور الجسيمي لطبيعة الضوء، يشكلان محاولتين يقصد منهما تكييف الظواهر التجريبية مع حدسنا في صورته العادية، محاولتين تجد فيهما المفاهيم الكلاسيكية

نوعين من التعبير متكاملين.

أما بالنسبة للجسيات المادية، فان الدراسات التي تناولت خصائصها كشفت هي الاخرى عن نتائج مماثلة. هناك تجارب عديدة معروفة اثبتت فردية الجسيات الكهربائية الاولية. غير ان تفسير النتائج المختلفة التي تم التوصل اليها مؤخرا في هذا المجال، وخصوصا منها انعكاس الالكترونيات على البلورات المعدنية بطريقة انتقائية، يتطلب هو الاخر اللجوء الى مبدأ تراكب الامواج كما بين ذلك لوى دوبروى. وهكذا نجد أنفسنا هنا امام نفس الوضعية التي واجهتنا قبل، في ميدان الضوء.

والنتيجة هي أنه لا بد أن نجد أنفسنا أمام مأزق حرج اذا نحن تمسكنا بالمفاهيم الكلاسيكية. فلا مناص لنا من اعتبار هذا المأزق واقعة تعبر تعبيراً دقيقا عن نتائج تحليل المعطيات التجريبية. فالمسألة هنا لا تعني وجود تناقض، بل الامر يتعلق بتصورين متكاملين يشكلان، مجتمعين، تعمما طبيعيا لطريقة الوصف الكلاسيكية. ويجب ان لا يغيب عن أذهاننا عند مناقشة هذه القضايا من وجهة النظر التي ندافع عنها هنا، ان الاشعاع في الفراغ وكذا الجسيات المادية المتفردة ليست في واقع الأمر سوى تصورات تجريدية، لان خصائص ذلك الاشعاع وخصائص هذه الجسيات لا يمكن تحديدها أو ملاحظتها معزولة. وإنما يمكن ذلك، فقط خلال تفاعلها مع منظومات اخرى حسب ما تنص عليه المسلمة الكوانتية. ومع ذلك، فهذه التصورات التجريدية ضرورية لجعل النتائج التجريبية في متناول حدسنا كما هو في صورته العادية.

لقد قامت مناقشات كثيرة، منذ وقت طويل، حول الصعوبات التي تحول دون تطبيق السببية والتحديد المكاني - الزماني في اطار النظرية الكوانتية ولقد تم مؤخرا ابراز هذه الصعوبات باستعمال طرائق رياضية رمزية. وقد ناقش هايزنبرغ عدم تناقض هذه الطرائق في اعمال قام بها مؤخرا. وفي هذا المجال بكيفية خاصة على وجود نوع من اللاتحدد يؤثر في قياس جميع المقادير الذرية »(1) .

« ... أن مراجعة أسس الميكانيكا بالصورة التي شرحناها، والتي تذهب الى حد نقد فكرة التفسير الفيزيائي نفسها، لا تقتصر اهميتها الحاسمة على إضفاء الوضوح على النظرية الذرية، بل انها حددت، فضلا عن ذلك، جدول أعمال أولي لمناقشة مشاكل البيولوجيا من وجهة النظر الفيزيائية. ان هذا لا يعني قط اننا نجد في الظواهر الذرية ما يشبه خصائص الاجسام الحية بأوسع مما نجده في النتائج الفيزيائية العادية.... ولكن يجب أن نتذكر أن القوانين الخاصة بالعمليات والتطورات الذرية التي لا تقبل الوصف السببى الميكانيكي، وتقبل فقط وصفا تكامليا، هي - أي القوانين - ضرورية، على

(1) Niels Bohr: La Théorie et la description des phénoménes trad. A Legros et L. Rosenfeld. PP. 50-54. Gauthier-Vithars. Paris 1932.

الاقل، لفهم آلية الحياة، بمثل ما هي ضرورية لتفسير خصائص الاجسام المتعضية....

... ولكن يجب أن ننتبه الى أن الشروط التي تتم فيها الابحاث البيولوجية، والشروط التي تجري فيها الأبحاث الفيزيائية ليست قابلة للمقارنة بكيفية مباشرة، ذلك لأن ضرورة الحفاظ على الحياة في الأبحاث الأولى تستلزم الوقوف في البحث عند حد معين، الشيء الذي لا تتقيد به الأبحاث الثانية. اننا سنقتل الحيوان، بكل تأكيد، إذا نحن حاولنا الذهاب بعيدا في دراسة حواسه الى الحد الذي يمكننا من تحديد دور الذرات الفردية في وظائفه الحياتية. والنتيجة هي أنه لا بد في كل تجربة نجريها على الكائنات الحية من وجود نوع من الارتياب حول الشروط الفيزيائية التي تخضع لها هذه الكائنات. وهذا ما يحملنا على القول بأن ذلك الحد الادنى من الحرية الذي نحن ملزمون بمنحه للاجسام الحية - عند اجراء التجارب عليها - يكفي تماما لجعل هذه الاجسام تخفي عنا، بشكل من الاشكال، أسرارها الأخيرة.

ومن هذه الوجهة من النظر يجب أن ننظر الى وجود الحياة كواقعة اولية لا يمكن تأسيسها على أية واقعة أخرى، ومن ثمة يجب ان نتخذها كنقطة انطلاق البيولوجيا، تماما مثلما ان وجود كوانتوم الفعل، ذلك المظهر اللاعقلي من وجهة نظر الميكانيكا الكلاسيكية، يشكل هو والجسيات الاولية، القاعدة الأساسية التي ترتكز عليها الفيزياء الذرية. أن أطروحتنا التي تقول باستحالة تفسير الوظائف الحيوية تفسيرا فيزيائيا - كيميائياً، يمكن بهذا المعنى أن يقايس بينهاوبين الاطروحة التي تقول بعدم كفاية التحليل الميكانيكي لفهم استقرار الذرات.....»(1)

«.... ومهما بدا لكم ان هذا التطور الذي عرفته الفيزياء لم يكن متوقعا، فأنا متأكد من أن كثيرا منكم قد انتبهوا الى التشابه الواسع بين الوضعية التي تعرفها دراسة الظواهر الذرية حاليا، كما سبق ان وصفتها، وبين المظاهر الخاصة بمشكل الملاحظة في علم النفس. والواقع أننا لا نجافي الصواب اذا قلنا أن ما يميز علم النفس الحديث هو أنه جاء كرد فعل ضد المحاولات التي تقوم بتجزئة التجربة السيكولوجية الى عناصر اولية يمكن جمعها بعد ذلك كما تجمع معطيات القياس في الفيزياء الكلاسيكية. بديهي انه من المستحيل الفصل في الاستطبان فصلا واضحا، بين الظواهر النفسية التي تشكل الوعي، وبين ادراك الوعي لهذه الظواهر. وعلى الرغم من أننا نقول احياناً ان انتباهنا مركز كله حول مظهر معين من مظاهر التجربة السيكولوجية. دون غيره، فان الفحص الدقيق سرعان ما يكشف ان الأمر يتعلق بوضعيتين تنفي احداهما الاخرى. اننا نعرف جميعاً - وهذا ما عرفناه منذ وقت طويل - انه عندما نحاول تحليل انفعالاتنا الخاصة

(1) N. Bohr. Lumière et vie. conférence de 1932. dans: Physique atomique et connaissance humaine. Gauthier. Villars. PP. 7-8-11. Paris 1972. Trad. Bauer et R. Omnes.

نكف فورا عن الاحساس بها. وعلينا ان نعترف بأن ثمة بين التجارب النفسية التي يتطلب وصفها استعمال كلمات مثل «أفكار» و«عواطف» علاقة تكامل شبيهة بتلك التي نجدها بين التجارب على الظواهر الذرية....

لنفحص الموضوع بدقة أكثر، ولنتناول الاصداء التي يمكن أن تتردد لهذه الوجهة من النظر في مجال مقارنة الثقافات البشرية المختلفة. ولنشر أولا الى العلاقة التكاملية الواضحة القائمة بين المظاهر التي نسميها «غريزة» والمظاهر التي نسميها «عقل» في سلوك الكائنات الحية....

واذا نحن قارنا بين الغريزة والعقل، فانه من الضروري الاشارة الى انه لا توجد اية فكرة - في المستوى البشري - دون اطار من المفاهيم المشيدة بواسطة لغة يجب على كل جيل ان يتعلمها من جديد. ولا تعمل هذه المفاهيم على تنحية جزء كبير من الحياة الغريزية فقط، ولكنها ايضا تدخل في علاقة تكامل مع السلوك الغريزي الموروث بشكل يجعل كل جانب من هذين الجانبين ينفي أحدهما الاخر....

وكما قلت سابقا فإن نظرية النسبية يمكن أن تفيدنا افادة كبرى. فهي تحملنا على النظر بأكثر ما يمكن من الموضوعية الى العلاقات القائمة بين مختلف الثقافات ( = الحضارات)، البشرية، والتي تشبه الاختلافات التقليدية القائمة بينها، من عدة وجوه، مختلف الطرق المتكافئة ( = المنظومات المرجعية) التي يمكن أن توصف بها التجارب الفيزيائية. ومع ذلك فان هذه المقايسة بين مشاكل العلوم الفيزيائية والعلوم الانسانية لها مجال تطبيقي محدود. ولقد ادت المبالغة فيها الى اغفال جوهر نظرية النسبية ذاتها. ذلك لأن وحدة التصور النسبي تستلزم - بالضبط - أن يكون في امكان كل مراقب أن يتوقع ويتنبأ، في اطار تصوره الخاص كيف سيعمل ملاحظ آخر على تحديد تجربته داخل الإطار الخاص به. ان العائق الأساسي الذي يحول دوننا ودون النظر الى العلاقات بين مختلف الثقافات نظرة خالية من كل حكم مسبق هو تلك الاختلافات العميقة بين الارضيات والخلفيات التي تؤسس، في كل مجتمع، وحدة الموقف من الحياة، وهي اختلافات تمنع كل مقارنة بسيطة بين هذه المواقف.

في هذا السياق تبرز وجهة النظر التكاملية، قبل غيرها، كوسيلة تمكن من السيطرة على الوضعية. ذلك لانه عندما ندرس الثقافات التي تختلف عن ثقافاتنا، نجد أنفسنا أمام مشكل خاص، من مشاكل الملاحظة، مشكل يبدو، عندما ننظر اليه عن قرب، قريب الشبه جدا بالمشاكل الذرية أو السيكولوجية التي يحول فيها التداخل بين الموضوع وأدوات القياس، أو عدم امكانية الفصل بين المحتوى الموضوعي والذات الملاحظة، دون التطبيق المباشر للمواضعات اللغوية التي كيفت مع تجاربنا اليومية...

وكما اننا نستعمل في الفيزياء الذرية مفهوم التكاملية للتعبير عن العلاقة التي تقوم بين حوادث التجربة المحصل عليها بواسطة تأليفات تشبيهية قياسية مختلفة، تلك

العلاقات التي لا يمكن وصفها حدسيا الا بواسطة صور ينفي بعضها بعضا، فكذلك يحق لنا النظر الى الثقافات المختلفة بوصفها ثقافات متكاملة فيما بينها.... »[1]

---

(1) N. Bohr: Le probléme de la connaissance en physique et les cultures humaines. Allocation faite au congrés international d'anthropologie et d'ethnologie. 1938. ibid. p. 35.

# المكان والزمان في

# الفيزياء الحديثة [1]

**لوي دوبروي**

يعالج لوى دوبروى في هذا النص بعض النتائج الايبستمولوجية التي اسفرت عنها الابحاث الفيزيائية في ميدان الذرة، خاصة تلك التي أدى اليها اكتشاف عدم امكانية التحديد الدقيق للظواهر الذرية تحديدا يتناول في آن واحد موقع الشيء وسرعته. ان ارتباط تحديد الموقع بتحديد السرعة (أي كمية الحركة) يعني ارتباط وجود الجسم بالزمان والمكان ارتباطاً خاصا وبالتالي استحالة اعتبار الزمان والمكان اطارين مستقلين عن الاشياء الموجودة فيها. فاذا كنا نستطيع ان نتصور المكان خلوا من الأشياء والزمان خلوا من الحوادث، على مستوى الحياة البشرية العادية وبالتالي نتصور المكان والزمان كاطارين قبليين، كما قال كانت، فان هذا غير ممكن تماما على المستوى الذري. النص كله يدور حول هذه المسألة.

---

«عندما بدأت العلوم الفيزيائية تنمو وتتقدم بطريقة علمية كانت التفسيرات التي تقترحها الظواهر الطبيعية تنطلق من المفاهيم والتصورات التي تمدنا بها الحياة الجارية، والتي أصبحت تبدو لنا، بفعل تعودنا لها، كمفاهيم وتصورات حدسية. وليس هناك شك في أن التقدم المطرد الذي عرفته النظرية الفيزيائية بفضل استعمال التحليل الرياضي قد جعل العلوم الفيزيائية لا تحتفظ من الصور المستوحاة من الحياة اليومية الا بأشكال خالية من كل لون. وهكذا فاذا كانت فكرة الجسيم تتمثل في الحدس العلمي كجسم صغير ذي شكل ولون وبنية، كما هو الحال بالنسبة لكرة صغيرة من الرصاص او لحبة من الرمل مثلا، فان النظرية الفيزيائية لم تحتفظ من هذه الصورة المشخصة جدا، الا بصورة تخطيطة لشيء صغير يشغل حيزا، هو عبارة عن نقطة مادية. لقد كان عليها أن تبعد من مجال تصورها الصفات المميزة، كاللون، وأن تترك الشكل والبنية غير واضحين في الغالب. وكذلك الشان في القوة: فمن المعنى المشخص الذي نعبر به عن المجهود الذي

---

(1) Louis de Broglie: Continu et discontinu en physique moderne PP. 66-72. Albin Michel Paris. 1949.

تقوم به احدى عضلاتنا من أجل نقل جسم من مكان الى آخر استخلصت النظرية الفيزيائية مفهوم القوة التي تمثل لها رياضيا بمتجهه (فيكتور Vecteur )، الشيء الذي يدلنا على مدى ما حصل في هذا المجال من تقدم على صعيد التجريد. وهكذا فباستخلاص المفاهيم الاساسية من الواقع المعاش، بواسطة عمليتي الاختزال والتجريد، تمكنت الفيزياء الرياضية، في مرحلتها الكلاسيكية التي تمتد من بدء النهضة الى القرن العشرين، من بناء ذلك الصرح الجميل الذي نعرفه جميعا. وليس ثمة شك في أن الفيزياء الرياضية هذه قد اضطرت الى عدم العناية بالمظهر الكيفي للظواهر، فتركته غامضا ملتبسا، ولكنها - في مقابل ذلك - كانت قادرة تماما على التنبؤ الصحيح بالحوادث الفيزيائية التي تجري في المستوى البشري. وهكذا تم التوصل، بواسطة الاختزال التجريدي للمفاهيم المستخلصة من الحياة البشرية الجارية، الى بناء نظرية فيزيائية كانت تبدو قادرة على وصف الظواهر التي ندركها مباشرة، وصفا تاما.

ولقد كان من بين الوقائع الاساسية التي سجلت بداية التقدم الهائل الذي عرفته الفيزياء منذ نصف قرن(1) ، هو أنها ركزت اهتماما كما نعرف، على دراسة الظواهر على المستوى الذري. وبمقدار ما كانت التجارب الدقيقة تسمح بالنفاذ أكثر فأكثر الى هذا الميدان - الذري - والكشف فيه عن حوادث غريبة وغير متوقعة، بمقدار ما أخذ المنظرون يجتهدون في تمطيط الافكار وطرق الاستدلال، التي حققت نجاحا كبيرا على المستوى المكروسكوبي، لتشمل هذا الميدان الجديد. ويبدو أنهم لم يكونوا يرتابون، بدافع الغرور بلا شك، في امكانية القيام بهذا التمطيط. وحتى سنة 1913 ، أي في وقت كان لا بد فيه من أن يحمل اكتشاف الكوانتا، ووضوح أهميتها البالغة،المعنيين بالامر، على التزام بعض الحذر، كان معظم الفيزيائيين الذين تحمسوا، وهم على حق، للنموذج الذري الذي قال به بور، يتصرفون وكأنهم يسلمون بهذا النموذج تسليما حرفيا، اذا صح القول، لقد كانوا يتصورون، وربما مع شيء من السذاجة، أن الالكترونات الدقيقة تدور فعلا و واقعيا، داخل الذرة حول نواة موجبة مركزية، وعلى مسارات مضبوطة، وحسب قوانين الحركة هي من جنس القوانين التقليدية المعمول بها في الميكانيكا الكلاسيكية. وكما هو معروف، فلقد رفضت هذه الالكترونات السابحة داخل الذرة أن ترسم مسارات أخرى غير تلك التي تسمح لها بها قواعد الكوانتا. ولم يكن ينظر الى هذا الا كمجرد استثناء لامكانيات التوقع التي تتوفر عليها الميكانيكا الكلاسيكية استثناء لا يستلزم قط مراجعة قوانينها وتصوراتها. ومن الغريب أن السيد بور كان هو نفسه أول من أحس بضرورة التحفظ من النموذج الذي اقترحه. لقد أدرك منذ البداية أن بعض خصائص هذا النموذج تشير الى ضرورة القيام بمراجعة كاملة

(1) كتب لوي دوبروري هذه المقالة في بداية الاربعينات من هذا القرن.

للمفاهيم الكلاسيكية: ان وجود «محطات قارة»[1] في الذرة، موضوعة بشكل ما خارج الزمان، ثم أن استحالة تتبع القفزات الفجائية التي تجعل الذرة تنتقل من «حالة قارة» الى أخرى مماثلة، كل ذلك قد أوحى له بفكرة عميقة مؤداها أن الوصف الكامل للظواهر الكوانتية على المستوى الذري يتطلب، من بعض الوجوه على الاقل، تجاوز الاطار الكلاسيكي للمكان والزمان والتعالى عليه. ان جميع مراحل التقدم التي عرفتها، حديثا، النظريات الكوانتية تؤكد هذا الحدس، وتكتشف عن أن المفاهيم الاساسية، التي تقول عليها الفيزياء الكلاسيكية، ليست مؤهلة، بدرجة كافية لوصف الظواهر على المستوى الذري، وصفا ميكروسكوبيا.

والحق أنه كان من قبيل المجازفة وعدم التروي الاعتقاد بأن التصورات المستخلصة من تجاربنا الحسية يمكن أن تصلح بتمامها، وفي الحين، للاستعمال في مستوى يختلف اختلافا كبيرا عن مستوى ادراكنا الحسي، لقد كان من الواضح مسبقا أن مفهوم الجسم الذي نتصوره كأقصى ما يمكن الحصول عليه بالتجريد من حبة الرمل، وان مفهوم القوة الذي نتصوره كأقصى ما يمكن الحصول عليه بالتجريد من المجهود العضلي أو من توتر الزنبرك، لقد كان واضحا أن مثل هذه المفاهيم لا يمكن أن تمثل شيئا حقيقيا داخل الذرة. غير أن الشيء الأساسي، الذي لم يكن متوقعا قط، والذي كشف عنه تقدم الباحث في ميدان الكوانتا، هو أن مفهوم المكان ومفهوم الزمان، مثلهما مثل مفهوم الجسم ومفهوم القوة لا ينطبقان بدورهما، انطباقا تاما، على الظواهر الميكروسكوبية. ان فكرة المكان الفيزيائي ذي ثلاثة أبعاد، والذي يشكل اطارا طبيعياً تتموضع فيه جميع الظواهر الفيزيائية، ثم أن فكرة الزمان الذي يتشكل من تتابع اللحظات، والذي نتصوره متصلا ذا بعد واحد، هما فكرتان مستخلصتان من التجربة الحسية، بواسطة عمليات التجريد الاختزال مماثلة لتلك التي تقودنا من حبة الرمل الى النقطة المادية أو من المجهود العضلي الى القوة. ومن دون شك، لقد سبق للنظرية السببية أن كشفت لنا عن ان المكان والزمان في اطار وحيد ذي أربعة أبعاد، هو اطار المكان - الزمان، وان تفكيك هذا الاطار الوحيد الى مكان وزمان منفصلين، أمر يتعلق بكل ملاحظ. ومع ذلك، وعلى الرغم من تلك الدقة التي عرفتها الفيزياء قبل الكوانتية في قمة تطورها، فان موضعة الاشياء في المكان والزمان، بتعيين موقعها وتحديد لحظة حدوثها، كانت ما تزال تحتفظ بالنسبة لكل ملاحظ بمعنى واضح تمام الوضوح. ان هذا لم يعد ممكنا في الفيزياء الكوانتية حيث يظهر جليا ان اطار المكان - الزمان (الذي قالت به نظرية النسبية) يفقد هو نفسه في المستوى الذري جزءاً من قيمته. لقد أنشأنا هذا الاطار في اذهاننا انطلاقا من دراسة الظواهر التي نلاحظها مباشرة حولنا، من تلك الأشياء المألوفة لدينا بسبب كونها في مستوى حياتنا البشرية.

(1) انظر الفصل الاخير.

فبواسطة أشياء من هذا النوع كالمتر والساعة، نقيس احداثيات المكان والزمان. غير ان الظواهر التي نلاحظها بكيفية مباشرة، هي في الواقع ظواهر احصائية دوما، ظواهر تتشكل مظاهرها وتجلياتها من عدد هائل من الظواهر الذرية الأولية. ان الاشياء المألوفة لدينا هي دوما اجسام ثقيلة جدا بالنسبة للجسيمات الأولية التي تتألف منها المادة انها أجسام ذات كتل كبيرة جدا الى درجة ان كوانتوم العمل لا يساوي شيئا إزاءها. ولذلك كان اطار المكان والزمان (الفيزياء الكلاسيكية مبينة ضمنيا على هذه الملاحظة) الذي انشأته اذهاننا لتسكن فيه الظواهر والاشياء التي هي في مستوى حياتنا البشرية، يبدو كما لو أنه اطار مستقل عن تلك الظواهر والاشياء التي تحتل فيه حيزا. هذا ما جعل اطار المكان والزمان يبدو لنا، في نهاية الأمر، كاطار ذهني مستقل عن محتواه، وذلك الى درجة أننا أصبحنا نتصور هذا الاستقلال كشيء أكيد وطبيعي تماما. مما حملنا على اعتبار مفهوم المكان ومفهوم الزمان كفكرتين قطريتين قبليتين.

أما اليوم وعلى ضوء النظريات الكوانتية، فيبدو انه من الضروري العدول عن هذا التصور عدولا تاما. ففي مستوى الظواهر الذرية، وهو مستوى دقيق جدا الى درجة لا يجوز معها اهمال تأثير كوانتوم العمل، يصبح التحديد الدقيق للشيء في المكان والزمان غير ممكن بدون الأخذ بعين الاعتبار الخصائص الدينامية لذلك الشيء، وبالأخص منها كتلته. فاذا امكن ان نتخيل ملاحظا ميكروسكوبيا (والواقع انه لا يمكننا ذلك، لأنه كيف ستكون اعضاؤه الحسية) يقوم بابحاثه داخل منظومة ذرية، فان مفهومي الزمان والمكان ربما لن يكون لهما بالنسبة له اي معنى، او على الاقل لن يكون لهما بالنسبة له نفس المعنى الذي لدينا نحن عنهما. ولكننا نحن البشر، نحن الذين لا نستطيع ان نلاحظ سوى انعكاس النشاط الذري على الظواهر التي على المستوى البشري، نحن الذين نضطر الى موضعة ملاحظاتنا في اطار المكان والزمان، وهذا شيء طبيعي تماما، نعمل على بناء نظرياتنا حول الظواهر الذرية والكوانتية في هذا الاطار الذي الفناه والذي لا نتصور قط امكانية الاستغناء عنه استغناء تاما. ان رغبتنا في ادخال هذه الظواهر الاولية في اطار المكان والزمان، الاطار الذي لا يصلح فعلا الا عندما يتعلق الأمر بوصف احصائي يعتمد على المتوسطات الحسابية لعدد هائل من هذه الظواهر. ان رغبتنا تلك، قد جعلتنا نصطدم بـ «علاقات الارتياب» المشهورة التي صاغها هايزنبرغ. ان هذه العلاقات التي هي بمثابة العلامة التي تشير الى الحدود الفاصلة بين قطاعين، قد جاءت لترسم حدا لصلاحية المفاهيم القديمة التي الفناها واعتدناها، ثم لتمنعنا من التمسك بذلك الاستقلال الذي كان يبدو لنا واضحا، استقلال الزمان والمكان عن الخصائص الدينامية للكيانات الفيزيائية.

ان الفيزياء الكوانتية الحقيقية ستكون بدون شك فيزياء يكون في امكانها، بتخليها عن فكرتي الموقع واللحظة الزمنية، والشيء، وجميع ما يشكل حدسنا العادي ان ننطلق من

مفاهيم وفرضيات كوانتية محض وبارتفاعها بعد ذلك، الى الظواهر الاحصائية على المستوى الماكروسكوبي، ستكشف لنا عن الكيفية التي يمكن بها ان ينبثق من الواقع الكوانتي على المستوى الذري، وبواسطة حساب المتوسطات اطار المكان - الزمان الصالح على المستوى البشري. ولكن هذه الفيزياء ليست، بدون شك، على قاب قوسين او ادنى، انها ستكون بعيدة عن حدوسنا الحسية الى درجة يصعب معها علينا ان نتصور كيف يمكن البدء في انشائها اليوم مع بعض الحظوظ في النجاح».

# النزعة الاجرائية
# التزامن في نظرية النسبية[1]

بريدجمان

فتحت نظرية النسبية، مثلها في ذلك مثل النظرية الكوانتية مجالا واسعاً لمراجعة المفاهيم العلمية ونقدها. مما ادى الى قيام اتجاهات ايبستيمولوجية جديدة، ومحاولة الاتجاهات القديمة استغلال الكشوف العلمية لفائدتها والنزعة الاجرائية Opérationnisme التي تزعمها الفيزيائي الامريكي برد جمان (1882–1961) من الاتجاهات الوضعية الجديدة في ميدانالفيزياء ولعلها اكثر الاتجاهات الوضعية تطرفاً. ذلك لانه اذا كانت النزعة الوضعية عموما لا تعترف الا بالظواهر. فان النزعة الاجرائية لا تعترف الا بالظواهر التي تقبل القياس. والمعرفة العلمية في تصورها نسبية وغير يقينية. وهي تلح على ان تكون مفاهيم العلم مفاهيم اجرائية، يعني انها لا تقدم اية معرفة ولا أي يقين عن الواقع الا ما كان منها يتوفر على مناظر له في التجربة، وبالتالي فهي مفاهيم تبين طريقة القياس لا ماهية الشيء الذي يقيسه. وكذلك التعريف الاجرائي، فهو تعريف يبين الطريقة التي تحدد بها الشيء او نتعرف بواسطتها على علاقاته بغيره من الاشياء المماثلة، لا حقيقته كشيء في ذاته.

---

«بما ان الفيزيائي – المعاصر – مقتنع بانه يستحيل عليه، استحالة مطلقة، التنبؤ بما يتجاوز مجال تجربتنا الراهن، فانه يتحتم عليه، اذا أراد تجنب مراجعة موقفه باستمرار، ان لا يستعمل في وصفه للطبيعة الا المفاهيم التي من شأنها أن لا تدفع بتجربتنا الحالية الى رهن وتقييد تجربتنا المقبلة. ان هذا، فيما يبدو لي، هو ما يشكل العطاء الاكبر الذي قدمه اينشتين للعلم. وعلى الرغم من انه لم يقم هو شخصيا بابراز هذه الحقيقة او التعبير عنها صراحة، فاني اعتقد ان دراسة اعماله العلمية تدلنا

1) P. W. BRIDGMAN: Texte rapp. par Blanché: La metohde experimentale et la philosophie de la physique pp. 274–278. Armand Colin. Paris 1969.

على انه قد ادخل فعلا تعديلا جوهريا على تصورنا لما هي عليه، ولما يجب ان تكون عليه، المفاهيم المستعملة في الفيزياء. والى هذا العهد - عهد اينشتين - كان كثير من المفاهيم الفيزيائية تعرف بواسطة خصائصها.وأحسن مثال على ذلك، هو ذلك التعريف الذي اعطاه نيوتن للزمان المطلق. والفقرة التالية المقتبسة من «تعليقات» الجزء الاول من المبادىء (= المبادىء الرياضية للفلسفة الطبيعية لنيوتن) ذات دلالة خاصة في هذا الصدد.

«الزمان والمكان والمحل والحركة مفاهيم يعرفها الناس جميعا، فلا حاجة بنا الى تعريفها. ولكن علينا ان نلاحظ ان الناس، عادة، لا يتصورون هذه المقادير الا من خلال علاقاتها بالاشياء الحسية، مما ينتج عنه عدد من الاحكام المسبقة، يتطلب تبديدها التمييز في هذه المقادير بين ما هو مطلق وما هو نسبي ، بين ما هو حقيقي وما هو ظاهري، بين ما هو رياضي، وما هو عامي. الزمان المطلق، الحقيقي والرياضي، والذي لا علاقة له بأي شيء خارجي، ينساب بانتظام ويسمى الديمومة».

هذا في حين انه ليس ثمة قط ما يؤكد لنا انه يوجد في الطبيعة شيء له مثل هذه الخصائص التي ينص عليها هذا التعريف. وعندما نبني الفيزياء على مفاهيم من هذا النوع، فانها تصبح علما مجردا تماما، بعيدا عن الواقع، بمثل ما هي مجردة وبعيدة عن الواقع، الهندسة النظرية التي يشيدها الرياضيون على مجرد مسلمات. ومن واجب العلم التجريبي الكشف عما اذا كانت المفاهيم المعرفة بهذا الشكل يقابلها شيء من اشياء الطبيعة. وعلينا ان ننتظر دوما اننا سنجد - عندما نقوم بذلك - ان هذه المفاهيم لا يقابلها شيء في الطبيعة، او انها لا يقوم بينها وبين اشياء الطبيعة سوى تناظر جزئي. واذا فحصنا، بالخصوص تعريف الزمان المطلق على ضوء التجربة، فاننا لن نجد اي شيء في الطبيعة بمثل تلك الخصائص (التي نسبها اليه نيوتن).

ان الموقف العلمي الجديد ازاء المفاهيم يختلف عن ذاك تماما، ويمكن ان نشرح هذا بأخذ مفهوم الطول كمثال. فماذا نعنيه بطول شيء من الاشياء (من البديهي اننا نعرف ما نعنيه بالطول، عندما نستطيع الاخبار عن طول شيء من الاشياء، ايا كان هذا الشي، وهذا هو كل ما يريد الفيزيائي الحصول عليه. وللحصول على طول شيء من الاشياء لا بد من القيام باجراءات معينة، وبالتالي فان مفهوم الطول يتحدد عندما تتحدد الاجراءات التي بواسطتها نقيس الطول وبكيفية عامة، اننا لا نعني بمفهوم ما شيئا آخر سوى مجموعة من الاجراءات. ان المفهوم ومجموعة الاجراءات التي تناظره مترادفان.....

ولا بد من الحرص على ان تكون مجموعة الاجراءات التي تتكافأ مع المفهوم مجموعة وحيدة، والا وجدنا انفسنا عند التطبيق العملي امام انواع من الغموض ممكنة لا نستطيع السكوت عنها.

واذا طبقنا على الزمان المطلق هذا النوع من الفهم للمفهوم، فاننا سنجد انفسنا غير قادرين على فهم ما تدل عليه عبارة «الزمان المطلق» الا اذا كنا نعرف كيف نعمل لتحديد الزمان المطلق لحادث مشخص، اي اذا كنا نستطيع قياس الزمان المطلق. هذا في حين انه يكفينا فحص مختلف الاجراءات التي بامكاننا القيام بها لقياس الزمن، حتى نتبين انها جميعا اجراءات نسبية، والنتيجة هي انه لا بد من القول ان الزمان المطلق لا وجود له، كما صرحنا بذلك قبل. سنكتفي بالقول ان عبارة «الزمان المطلق» لا تدل على شيء، ونحن، عندما نصوغ هذا القول، لا نأتي بأي جديد يخص الطبيعة، وكل ما في الأمر هو اننا سلطنا الضوء على ما هو متضمن في الاجراءات الفيزيائية التي بواسطتها نقيس الزمان.

وواضح انه اذا تبنينا هذه الوجهة من النظر، فحرصنا على تعريف المفاهيم بواسطة الاجراءات الفعلية، لا بواسطة الخصائص فاننا لن نتعرض ابدا الى خطر مراجعة موقفنا ازاء الطبيعة. ذلك لأن الحرص على وصف التجربة بواسطة التجربة، سيجعل التناظر قائما دوما، وبالضرورة، بين التجربة والوصف الذي نعطيه لها. ولن يكون هناك قط ما يضايقنا، كما كان الشأن من قبل عندما كنا نحاول البحث في الطبيعة على النموذج الاصلي للزمان المطلق الذي قال به نيوتن واذا تذكرنا الى جانب ذلك، ان الاجراءات التي يناظرها المفهوم الفيزيائي هي اجراءات فيزيائية فعلية، فان المفاهيم لن تعرف الا في حدود التجربة الفعلية، اما خارج هذه الحدود فستبقى غير معرفة او فارغة من المعنى. وينتج عن هذا، ونحن هنا نعني ما نقول، اننا لا نستطيع قط قول شيء ما، عن المجالات التي لا تغطيها التجربة، وانه عندما يحصل ذلك، الشيء الذي لا يمكن تجنبه، فلن يكون سوى نوع من المد والتمطيط قائم على المواضعة والاصطلاح، ويجب ان نكون واعين تماما على انه مجرد مد اعتباطي، وانه لا شيء يبرره الا التجارب التي ننتظر ان يسمح بها المستقبل.

ومن المحتمل جدا ان لا يكون اينشتين ولا غيره قد عبر بطريقة واعية عن هذا التحول الذي تحدثنا عنه بخصوص استعمال المفاهيم. ولكن، ان يكون ذلك هو ما حصل بالفعل، فهذا ما يبرهن عليه، في نظري، فحص الكيفية التي يستعمل بها اينشتين وغيره، المفاهيم الفيزيائية. ذلك لأن البحث عن المعنى الحقيقي لكلمة من الكلمات يجب ان ينصب على ملاحظة ما نفعله بتلك الكلمة، لا على ما نقوله عنها. ولكي نبرهن على ان هذا القول، هو المعنى الذي بدأ يستعمل فيه المفهوم، سنفحص، بالخصوص، الكيفية التي يعالج بها اينشتين مفهوم التزامن. Simultanéité. .

لقد كان مفهوم التزامن يعرف قبل اينشتين بواسطة الخصائص، لقد كانت الحادثتان توصفان، عندما يراد بيان علاقتهما في الزمان، بان الواحدة منهما، اما سابقة على الاخرى، واما لاحقة لها، واما انهما معا متزامنتان. وهكذا كان التزامن ينظر اليه

كخاصة لحادثتين تؤخذان بمفردهما ولا شيء غير ذلك. فالحادثتان: اما ان تكونا متزامنتين واما ان تكونا غير متزامنتين. وكان استعمال هذه الكلمة بهذا الشكل مبررا بكونه كان يبدو وكانه يصف فعلا سلوك اشياء حقيقية. وبديهي ان التجربة في ذلك الوقت كانت محصورة في مجال ضيق. ولكن عندما اتسع مجال التجربة، اي عندما اصبحت تتناول، مثلا، السرعات المرتفعة، تبين ان هذا المفهوم لم يعد يتطابق معها، لأنه لم يكن هناك في التجربة أي شيء يستجيب لهذه العلاقة المطلقة بين حادثتين. وحينئذ تناول اينشتين مفهوم التزامن بالنقد والفحص. وقد تركز هذا النقد بكيفية خاصة على بيان ان الاجراءات التي تمكننا من وصف حادثتين بالتزامن، تستلزم قيام ملاحظ باجراء قياسات عليهما، وهذا يعني ان «التزامن» ليس فقط خاصية للحادثتين وحدهما دون غيرهما، بل انه يجب ان يشمل ايضا علاقة الحادثتين مع الملاحظ. وبالتالي، فما دمنا لا نتوفر على دليل من التجربة يثبت العكس، فلا بد لنا من القول ان التزامن بين حادثتين يتوقف على علاقتهما بالملاحظ، وبكيفية خاصة على سرعتهما بالنسبة له. وهكذا فمن خلال التحليل الذي قام به اينشتين لمحتوى مفهوم التزامن، وباكتشافه للأهمية الأساسية التي يكتسبها نشاط الملاحظ في هذا المجال، يكون قد تبنى وجهة نظر جديدة فيما يجب ان تكون عليه المفاهيم في الفيزياء، تعني بذلك وجهة النظر الاجرائية.

نعم، لقد ذهب اينشتين الى ابعد من هذا. فلقد تبين بدقة كيف ان الاجراءات التي تمكن من الحكم على وجود التزامن، تتغير بالنسبة للملاحظ الذي يتحرك، وتوصل الى ايجاد صياغة كمية تعبر عن تأثير حركة الملاحظ على الزمن النسبي الخاص بالحادثتين. ولنذكر هنا بين قوسين ان هناك حرية كبيرة في اختيار الاجراءات المناسبة. والاجراءات التي اختارها اينشتين راعى فيها جانب البساطة والملاءمة مع الاشعة الضوئية. وبغض النظر عن العلاقات الكمية الدقيقة التي صاغتها نظرية اينشتين فان النقطة المهمة بالنسبة لنا، هي انه لو اننا تبنينا وجهة النظر الاجرائية، لتمكنا، حتى قبل اكتشاف الظواهر الفيزيائية المعروفة اليوم، من معرفة كيف ان التزامن مفهوم نسبي اساسا، ولاحتفظنا في اذهاننا بمكان لهذه النتائج التي تم اكتشافها فيما بعد.».

# نقد الاتجاهات الوضعية[1]
# (من وجهة نظر ماركسية)

فاطالييف

بعد ان استعرضنا اهم القضايا الايبستيمولوجية التي طرحتهاالميكانيكاالكوانتية، وابرز الاتجاهات الوضعية، في العلم. التي قامت في اعقاب الثورة الكوانتية وانطلاقا منها، نورد فيما يلي نصا لاحد علماء السوفيات يناقش فيه اهم مقولات الوضعية الجديدة واتجاهاتها المختلفة مركزا على النزعات التي ترى ان موضوع الفيزياء لم يعد الاشياء الواقعية بل نتائج القياس فقط، الشيء الذي يؤدي الى القول بعدم امكانية معرفة الواقع الموضوعي كما هو، ويحصر المعرفة البشرية في المعطيات الحسية وعمليات القياس. ان الاتجاهات التي تتبنى هذا الرأي هي امتداد لفلسفة ماخ الظاهراتية كما اشرنا الى ذلك من قبل. تلك الفلسفة التي رد عليها لينين في كتابه «المادية والمذهب التجريبي النقدي» هذا الكتاب الذي لم يظهر بعد عند السوفيات، في حدود علمنا، ما يوازيه اطلاعاً وقوة حجة.

---

«.. لننتقل الان الى علاقات الوضعية الجديدة بالنظريات الفيزيائية الحديثة. ان معالجة هذا الموضوع ضرورية، لأن مختلف النزعات المثالية في الفيزياء، مثل النزعة الطاقوية[2] والنزعة الاجرائية والنزعة الموضعانية[3] والنزعة الذاتية الانتقائية، جاءت كلها نتاجا للوضعية الجديدة ونتيجة لتسربها الى الفيزياء، وايضا لأن هذه النزعات نفسها تقدم للوضعية الجديدة حججها العلمية.

ان الوضعية الجديدة تطلب من الفيزياء ان تقوم بدور اساسي وهام في تبرير ارائها الفلسفية. لقد ورد في تقرير قدمه ديتوش بعنوان «تأملات في النقاش الراهن حول

---

(1) Kh. Fatiliev: Le matérialisme dialectique et les sciences de la nature–éd. du Progrés–Moscu.

(2) نسبة الى نظرية الطاقة (رانكين خاصة)، المترجم.

(3) نسبة الى نظرية المواضعة (بوانكاريه خاصة)، المترجم.

المعرفة الفيزيائية » الى مؤتمر زوريخ ما يلي: «لقد حدث مرارا ان كانت الفيزياء منطلقا للتأمل الفلسفي، ولنظرية المعرفة بكيفية خاصة. لقد فرضت الفيزياء الحديثة، بتصوراتها البعيدة جدا عن الفهم العلمي، آفاقاً جديدة على البحث الفلسفي »(4). صحيح ان الفيزياء قد قدمت فعلا، وما زالت تقدم، مادة خصبة للتأمل الفلسفي. ولكن ديتوش يفكر في شيء آخر عندما يتحدث عن الافاق الجديدة التي تفتحها الفيزياء الحديثة امام الفلسفة. ان الوضعية الجديدة ترى في الاضطراب الذي تعرفه حاليا النظرية الفيزيائية، نتيجة قيام الميكانيكا الكوانتية ونظرية النسبية والفيزياء النووية، فرصة ملائمة للقيام بمحاولة نسف مادية الفيزيائيين العفوية، وافساد ايمانهم الفريزي بالوجود الموضوعي للعالم وبتوافق النظريات الفيزيائية مع الواقع، والعمل، اخيرا، على هدم الاسس العلمية للمادية الجدلية. يقول ديتوش في تقريره المذكور: «والخلاصة اننا عشنا منذ خمسة وعشرين عاما، نشوء فلسفة جديدة للطبيعة، وقيام تصور جديد لعلاقات الذات بالموضوع تصوراً لا يمكن ربطه باية فلسفة من الفلسفات التي شيدت من قبل.» ويقول ديتوش نفسه، ان هذا التصور الفلسفي «الجديد» يمكن التعبير عنه بكلمة واحدة، هي: الذاتوية **Subjectivisme**.

والحق ان الوضعية الجديدة تبني تصورا جديدا لمثالية ذاتية تزعم انها مؤسسة على المكتسبات الحديثة للعلوم الفيزيائية. فلننظر كيف تعمل الوضعية الجديدة على تعزيز تصورها الفلسفي بواسطة الفيزياء.

من المعروف ان احد المبادىء الاساسية للوضعية الجديدة، يتلخص في القول: ان العلم منظومة من التأكيدات المستنتجة، طبقا لقواعد المنطق الصوري، انطلاقا من «محاضر التجربة» **Enoncés protocolaires** أو «العبارات البسيطة على الإطلاق»(5) ان محاضر التجربة التي يقول بها كارناب لا تحتاج الى تبرير، وهي تقدم الاساس الذي تنبني عليه التأكيدات في العلم (= القضايا العلمية = القوانين). واختبار الحوادث العلمية يجب ان يتم لا بمقارنتها مع الواقع الموضوعي، ولا مع التجربة بل مع هذه المحاضر. ويرى راسل ان طريقة التحليل المنطقي تكمن في ارجاع جميع الحوادث التي يكتشفها العلم الى قضايا بسيطة على الاطلاق، قضايا موضوعها اولى عناصر العالم. ان محاضر التجربة التي يقول بها كارناب، والقضايا البسيطة على الاطلاق التي يقول بها راسل هي، اساسا، المنطلقات القاعدية للوضعية الجديدة في محاولتها الرامية الى ايجاد اسس يشيد عليها العلم.

ان محاضرة التجربة والقضايا البسيطة على الاطلاق تلعب دور التأكيدات العلمية

(4) اعمال المؤتمر الدولي الثاني للاتحاد العالمي لفلسفة العلوم ص.128

(5) المصطلح الاول لجماعة فيينا، والثاني لبرتراند راسل والمقصود: الملاحظات – الجزئية – التي يسجلها الباحث والتي تمده بها التجربة. (قارن مع محاضر الشرطة بخصوص حادثة سير). المترجم.

المثبتة لمعطيات الملاحظة، اي الادراكات المباشرة، وهي عندهم بمثابة رسوم بيانية للملاحظة. وهم لا ينظرون اليها بوصفها تكافىء الاشياء وظواهر العالم الواقعي، بل يعتبرونها ذاتية وهمية. وهكذا ينحل العالم الفيزيائي الواقعي الى اشارات آلات القياس، والى ادراكات لا تشترك في شيء مع العالم الواقعي (من وجهة النظر هذه ليس ثمة ما يجمع بين مصادر الضوء والصوت وادراكاتنا البصرية والسمعية).

ان هذا المبدأ الذي تتمسك به الوضعية الجديدة يعبر عنه في لغة الفيزياء بمصطلح « القابلية للملاحظة » **L'observabilité**. وقوام هذا المبدأ ان مهمة الفيزياء تنحصر في القيام بملاحظات مباشرة للظواهر، دونما اعتراف بالوجود الذاتي للموضوعات اي كاشياء مستقلة عن الملاحظة والقياس.

ان النزعة الطاقوية التي قال بها اوستوالد **Ostwald** تتضمن سلفا، فكرة مبدأ القابلية للملاحظة. وقد سبق لسومر فيلد **Sommerfeld** ان سجل، بحق، كون النزعة الطاقوية تنطلق من الفكرة التالية، وهي ان النظرية الفيزيائية يجب ان تشيد على المقادير القياسية والمعطيات القابلة للملاحظة المباشرة، وهي تعني بذلك الطاقة وحدها! لقد شغل اوستوالد نفسه بتشييد نظرية عن الظواهرالفيزيائيةوالكيميائية مستندا في ذلك إلى مفهوم الطاقة وحده، معتبرا الموضوعات والظواهر الطبيعية كعمليات للطاقة خالية من كل سند مادي. ولذلك نادى بضرورة ابعاد مفهوم الذرة ومفهوم الجزيئي من العلم لكونهما لا يقبلان الملاحظة المباشرة.

لقد كشف تقدم العلم عن وهن مبدأ القابلية للملاحظة الذي بجلته مدرسة استوالد الطاقوية. لقد انهارت تماما محاولات بناء نظرية فيزيائية كيمائية على مفهوم الطاقة بمفرده، واصبحت الذرة والجزيئي موضوع تجارب لامعة وتطبيقات عملية واسعة. ولو ان العلماء تبعوا استوالد لأصبحت الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا وغيرها من فروع المعرفة غير قابلة للتصور...

في الفيزياء كما في اي علم آخر، تكتسي المفاهيم العلمية، التي تصاغ بواسطتها القوانين والمبادىء، اهمية كبيرة. ومن الطبيعي تماما ان تطرح على الفيزيائيين والفلاسفة مشكلة طبيعة المفاهيم العلمية ومشكلة طرق ومناهج صياغتها. ويمسك معظم الفيزيائيين، في هذا الشأن، بوجهة النظر المادية العفوية، فيعتبرون كشوف علومهم تعكس الخصائص الموضوعية للاشياء والظواهر الواقعية. ومع ذلك فإن النزعة الاجرائية ترى ان المفاهيم العلمية لا تعكس سوى خصوصيات عمليات القياس والملاحظة، وان المفاهيم يجب ان تعرف لا بخصائص الموضوعات الفيزيائية بل بطرق القياس وعملياته. وقد كتب بريد جمان، الاجرائي النزعة، قائلاً: « ان ما يعرف المفهوم ليس الخصائص، بل الاجراءات الواقعية »(6).

(6) P. W. Bridgman The logic of Modern Physic. New York. 1949 PP. 5-6

هناك في الفيزياء طرق مختلفة لملاحظة نفس الموضوعات الفيزيائية، واذا قمنا بتعريف المفاهيم العلمية بطريقة ما من طرق الملاحظة فمن الطبيعي ان لا يكون لها مدلول محدد تحديدا تاما. فكلما تعددت وسائل قياس شيء من الاشياء كلما تعدد المفاهيم التي تخص هذا الشيء. ولا يمكن لأي علم ان يقبل هذا اللاتحديد للمفاهيم. ولقد حاولت نزعة المواضعة ان تعالج هذه الحالة، مقترحة قيام اتفاق ومواضعة بين الملاحظين حول اختيار المفهوم. وهكذا تعمل هذه النزعة على جعل المفاهيم الفيزيائية العلمية مرهونة بوجهة النظر الذاتية للملاحظ، بعد ان عزلت النزعة الاجرائية هذه المفاهيم عن الموضوعات الفيزيائية.

اما النزعة الذاتية الانتقالية التي نادى بها ادينجتون **Eddington** فهي تقدم لنا منظومة جد منسقة مبنية هي الاخرى على مبدأ القابلية للملاحظة. ذلك ما يكشف عنه مظهرها المنطقي المتطرف.

وفيما يلي وجهة نظر النزعة الذاتية الانتقائية: انها ترى ان النظرية الفيزيائية يجب ان تشيد بواسطة التأكيدات المستندة على منهج الملاحظة ويجب ان لا تهتم بالخصائص الموضوعية للاشياء ولا بالظواهر الواقعية، بل يجب ان تحصر اهتمامها في «السلوك الملاحظ» في الخصائص التي «يوحي بها منهج الملاحظة»(7) والمعلومات الفيزيائية يتم الحصول عليها في نظرها بدراسة طريقة الملاحظة و«الطرق الحسية والفكرية» المستعملة حين الملاحظة، وبالتالي فان كل ما لا يقبل الملاحظة يجب ان يستبعد من النظرية الفيزيائية. وليست التجربة هي التي تفصل فيما اذا كان مقدار ما قابلا للملاحظة او لا، بل ان الذي يفصل في ذلك هو دراسة تعريف هذا المقدار، هو تحليله منطقيا. ويرى ايدنجتون ان مبدأ القابلية للملاحظة يسمح، بكيفية قبلية، بصياغة القوانين والثوابت الخاصة بالفيزياء. يقول: «... ان القوانين والثوابت الاساسية الخاصة بالفيزياء قوانين وثوابت ذاتية بتمامها، ويمكن صياغتها قبليا.»(8).

وهكذا فالوضعية الجديدة بكيفية عامة والنزعة الذاتية الانتقائية بكيفية خاصة، تنطلق من وجهة النظر القائلة، ان اساس الفيزياء هو مبدا القابلية للملاحظة، وان موضوعها هوّ تحليل طرق القياس. اما طبيعة القياس والقابلية للملاحظة فتلك مشكلة تجد حلها في التحليل المنطقي. وبذلك يصبح هدف الفيزياء هو توقع القياسات اللاحقة، استنادا إلى القياسات السابقة، وبالتالي فان مهمة القياس تنحصر فقط في تحديد درجة الاحتمال في نتائج قياسات اخرى. ومن هنا تصبح النظرية الفيزيائية مجرد تنهيج **Systématisation** للادراكات الحسية التي توحي بهاعملية الملاحظة، اما الواقع الموضوعي فلا شأن لها به. لقد مدد هذا النوع من الفهم لطبيعة المعرفة الفيزيائية الى جميع ميادين

(7) A.S. Eddington The philosophy of physical science... Newyork-1974-P. 37

(8) I bid, p. 104.

المعرفة، مما كانت نتيجته تلك النظرية التي اشرنا اليها اعلاه: نظرية محاضر التجربة.

وهنا لا بد من التساؤل: كيف تبرر الوضعية الجديدة مبدأ القابلية للملاحظة؟ وعلام يقوم منطق العلم هذا، هذا المنطق الذي يزعم انه يمكن من استنتاج جميع القضايا (= العلمية) من تحليل محاضر التجربة؟

لقد اكد ديتوش في الكلمة التي القاها في مؤتمر زوريخ ان هذه الفلسفة «الجديدة» تستند إلى نتائج الميكانيكا الكوانتية، وان اصالة هذه النظرية الفيزيائية ترجع الى «... كون الاستدلالات في النظريات الكوانتية تتوافق... مع قواعد منطق غير المنطق الكلاسيكي: منطق التكاملية والذاتوية»(9).

واضح اذن ان نظرية «محاضر التجربة» بأتمها، وبالخصوص منها، «مبدأ القابلية الملاحظة» ترتكز على مفهوم التكاملية. هذا في حين ان التكاملية ليست شرطا ضروريا ولا نتيجة حتمية للميكانيكا الكوانتية بل ان مفهوم التكاملية نفسه وليد تأويل وضعي، مثالي ذاتي، للميكانيكا الكوانتية، تأويل يتناول بالخصوص أحد مظاهرها (علاقات الارتياب) وهكذا فما تعتبره الوضعية الجديدة مبرراً لفلسفتها، ليس في واقع الأمر سوى نتيجة لتأويل مشوه لأحد الكشوف العلمية.

...(ان علاقات الارتياب) تؤكد ان القياس التزامني لموقع الجسم وحركته لا بد ان تتعرض لخطأ لا يقل عن $\frac{h}{2\pi}$ (10). وكان بور وهيزنبرغ وغيرهما من مشاهير العلماء قد اقترحوا تأويلا وضعيا ذاتويا ومثاليا لهذه العلاقات، التي هي صحيحة علميا. تأويلا ساعد على صياغة مبدأ التكاملية.

ان التأويل الذي تقدمه الوضعية الجديدة لعلاقات الارتياب - وهذا ما يشكل الفكرة الاساسية في التكاملية - يتلخص في القول: ان استحالة تحديد موقع الجسم وكمية حركته في آن واحد، وبدية مطلقة (يتعلق الامر بكيفية ادق بالخاصية المكانية الزمانية (= الموقع) وخاصية الدفع والطاقة (= السرعة) يدل على انهما (أي الموقع والسرعة) يتعلقان بالقياس، وبالتالي فهما نتيجة للعلاقة التي تقوم، حين القياس، بين الذات والموضوع، والتي تتكامل بشكل يجعل قياس الخاصية الزمنية المكانية للجسم ينفي قياس خاصية الدفع والطاقة في هذا الجسم نفسه، والعكس بالعكس.

ان عملية القياس تمارس تأثيرا على حالة الموضوع الملاحظ وعلى خصائصه. وهذا

---

(9) I bid. p. 129

(10)لقد شرح المؤلف في فقرتين سابقتين علاقات الارتياب. ونحن لم نر ضرورة لترجمتها بعد ان شرحنا بتفصيل هذه العلاقات ونتائجها. انظر الفصل الثالث من القسم الثاني من هذا الكتاب.

شيء لوحظ احيانا في الفيزياء الكلاسيكية، ولكنه اكتسى اهمية اساسية في الفيزياء الذرية. وتنطلق فكرة التكاملية من ان هذا التأثير الذي يمارسه القياس على الموضوع الملاحظ غير قابل للمراقبة من الناحية المبدئية في ميدان الفيزياء الذرية. واذا كان الأمر كذلك، فان الميكانيكا الكوانتية لا تدرس الا الظواهر التي تحدث حين الملاحظة والتي تسفر عنها عملية القياس. واذن فهي لا تستطيع ان تقدم لنا اية معرفة الموضوعات ولا عن الظواهر التي توجد مستقلة عنا وخارج نطاق فعل الملاحظة. وفي هذه الحالة تصبح الميكانيكا الكوانتية علما يقوم فقط بتنهيج المعطيات التي تقدمها طرق القياس، علما تنحصر مهمته في تقدير نتائج القياسات المقبلة انطلاقا من المعطيات التي اسفرت عنها القياسات السابقة، الشيء الذي يجعل من الميكانيكا الكوانتية علما يتناول محاضر التجربة.

هذا النوع من الفهم لطبيعة المعرفة العلمية والمؤسس على فكرة التكاملية، قد طبق بعد ذلك على جميع فروع المعرفة. وبما ان الوضعية الجديدة ترى ان وحدة العلوم تقوم على تعميم اللغة الفيزيائية، فانها تعتبر مفهوم التكاملية بمثابة منطق للعلم كله.

وهكذا تنحل الحجج العلمية التي ترتكز عليها الوضعية الجديدة، في نهاية الأمر، الى تأويل الميكانيكا الكوانتية بكيفية عامة وعلاقات الارتياب بصفة خاصة، تأويلا على فكرة التكاملية. هذا في حين ان مفهوم التكاملية مفهوم خاطىء تماما، فهو يناقض المحتوى الموضوعي للميكانيكا الكوانتية.

لنسجل، بادىء ذي بدء، ان كلمة التكاملية لا تستعمل دوما في نفس المعنى. ففي بعض الأحيان تعني التكاملية ان القيم الدقيقة التي تحدد احداثيات الموقع وكمية الحركة، فيما يحدد كل منها على حدة بواسطة صنفين من التجارب مختلفين احدهما عن الآخر، ولكنهما يتكاملان. وهذا النوع من الفهم للتكاملية مشروع تماماً، فالمسألة هنا تتعلق فقط بملاحظة واقعة فيزيائية. واحيانا اخرى يقصد بالتكاملية ان النموذج الفيزيائي الكلاسيكي لا يطبق في الفيزياء الكوانتية الا بشكل محدود. وهذا ايضا لا مؤاخذة عليه على الرغم من ان استعمال كلمة التكاملية في هذا المعنى قابل للمناقشة. غير ان مفهوم التكاملية عند بور يعني شيئا آخر، كما شرحنا ذلك قبل. ونحن حينما نؤكد ان فكرة التكاملية خاطئة تماما وانها لا تتوافق مع الميكانيكا الكوانتية، فانما تعني بالضبط المعنى الذي حدده بور وانصاره لهذه الكلمة.

فلماذا، اذن، نعتبر فكرة التكاملية - بهذا المعنى - خاطئة؟

أولا لان بور وأصحابه يستنتجون من علاقات الارتياب أن التأثير الذي تمارسه عملية القياس على الموضوع الملاحظ، تأثير لا يخضع للمراقبة هذا في حين أن هذه النتيجة لا ترجع لا الى علاقات الارتياب ولا الى أى قانون آخر في الميكانيكا

الكوانتية.

لقد حدث من قبل في الفيزياء الكلاسيكية أن لوحظ في بعض الحالات ان القياس يؤثر في الموضوع الملاحظ. وكانت الفيزياء الكلاسيكية تقدم طرقا ومناهج تسمح بمراقبة ذلك التأثير والبت في نتائج البحث، وبالتالي الحصول على معرفة لا تتوقف على القياس. أما في الفيزياء الذرية فان عملية القياس تمارس تأثيرا مهما جدا على الموضوع الملاحظ، في حين أن الميكانيكا الكوانتية لا تقدم مناهج تسمح بمراقبة هذه الظاهرة. وهذا ليس راجعا الى كون هذه الظاهرة لا تقبل المراقبة من الناحية المبدئية، بل لان الميكانيكا الكوانتية ليست نظرية تامة ونهائية للجسيات المعزولة. ان قوانين الميكانيكا الكوانتية ليست قابلة للتطبيق على جميع مظاهر الطبيعة الخاصة بالجسيات ولا على جميع مظاهر سلوكها، وهي لا تعكس جميع خصائصها ولا جميع مظاهرها. وبكيفية خاصة، فان مشكلة الوسائل التي تمكن من مراقبة التأثير الذي تمارسه أداة القياس على حالة الجسيم (موقعه وكمية حركته) مشكلة لا تدخل في نطاق امكانيات الميكانيكا الكوانتية. وهذه مسألة سيفصل فيها تقدم العلم. وهذا ما أشار اليه اينشتين بحق سنة 1935 في مناقشته مع بور حول هذا الموضوع نفسه. وافتقاد الميكانيكا الكوانتية الى مناهج للمراقبة من هذا النوع لا يؤثر في صحة نتائجها المتعلقة بالخصائص الاخرى التي للجسيات والتي لا تؤثر فيها عملية القياس.واذا كانت الميكانيكا الكوانتية لا تتوفر على وسيلة لمراقبة التأثير الذي تمارسه أداة القياس على الموضوع الملاحظ، فان هذا لا يبرر مطلقا التأكيد بأن هذا التأثير غير قابل للمراقبة. ان مثل هذا التأكيد معناه أن الميكانيكا الكوانتية تسجل الحد الاقصى لما يمكن أن نعرفه عن الجسيات (كما يرى ذلك بور). هذا في وقت نشاهد فيه فروعا أخرى للمعرفة تنشأ وتتطور أمام اعيننا (نظرية الجسيات الاولية، الفيزياء النووية)، فروعا لا تدخل في اطار الميكانيكا الكوانتية.

واذن، فاذا كان التأثير الذي تمارسه اداة القياس على الموضوع الملاحظ ليس مما لا يقبل المراقبة، فكيف نفسر استحالة القيام بقياس دقيق لاحداثيات الموقع والسرعة بالنسبة للجسيات قياسا متزامنا.

يمكن تفسير ذلك بكون الميكانيكا الكوانتية تدرس الخصائص الاحصائية لعدد كبير من الجسيات، أو خصائص الجسيات المعزولة منظورا اليها من الجانب الاحصائي. هذا في حين أن النظريات التي تتناول الخصائص الدينامية للموضوعات الفيزيائية هي التي تستلزم القياس المتزامن الدقيق لاحداثيات الموقع وكمية الحركة.

ويمكن تفسير علاقات الارتياب من وجه آخر. لذلك أن الجسيات لها بنية جسيمية وموجية معقدة، في حين أن احداثيات الموقع وكمية الحركة هي مفاهيم صيغت لبيان الخصائص الزمانية المكانية وخصائص الدفع والطاقة المتعلقة بالاجسام الكبيرة. ومن الجائز أن تكون هذه المفاهيم لا تعكس بدقة الخصائص المتعلقة بالجسيات. ولذلك، فان

التعبير عن خصائص الجسيات بواسطة مفاهيم لا تعكس تلك الخصائص بدقة، يؤدي الى الحصول على مقادير لا تحدد هذه الخصائص بما يلزم من الدقة.

ثانيا، أن الاطروحة التي تتبناها فكرة التكاملية والتي تؤكد أن الميكانيكا الكوانتية تتناول مقادير تتشكل حين الملاحظة، وتتصف بخصائص ناتجة عن عملية القياس، وبالتالي فهي لا تستطيع أن تمدنا بأية معلومات حول خصائص وحالات الجسيات كما هي، دون تدخل القياس، أطروحة خاطئة أيضا، فهي لا تستلزمها لا علاقات الارتياب ولا أي قانون آخر قوانين الميكانيكا الكوانتية، بل أنها بالعكس من ذلك مناقضة أساسا للمحتوى الموضوعي للميكانيكا الكوانتية.

تتميز حالة الجسم المتحرك، في الميكانيكا الكلاسيكية بالتحديد المتزامن للقيم الخاصة باحداثيات الموقع وكمية الحركة تحديدا مضبوطا. أما بالنسبة للجسيات فان علاقات الارتياب تشير الى أن مثل هذا التحديد المضبوط لا يمكن القيام به. وهذا شيء مفهوم، لانه لا شيء يبرر الاعتقاد بأن حالة الحركة يجب أن تضبط بنفس الشكل في ميادين من المواقع تختلف عن بعضها اختلافا كيفيا. وتاريخ العلم كله يؤكد أن الظواهر الفيزيائية المختلفة بهذا الشكل تتطلب أن تفسر حالاتها بأوجه مختلفة. وحالة المنظومات في الميكانيكا الكوانتية تتميز بخصائص غير تلك التي تتصف بها الموضوعات الماكروسكوبية. وهذا ما تعبر عنه الدالة الخاصة بها(11). واذا كان من المستحيل تطبيق التعريف الكلاسيكي للحالة على الجسيات، فان ذلك يعني، لا أن الميكانيكا الكوانتية لا شأن لها بالحالات الواقعية، بل يعني أنها تدرس حالات جديدة من الناحية الكيفية يتطلب التعبير عنها مفاهيم جديدة لم تتعودها الميكانيكا الكلاسيكية.

هكذا اذن، تقدم فكرة التكاملية التي هي وليدة تأويل الوضعية الجديدة لمبادىء الميكانيكا الكوانتية، كأحد مكتشفات هذه الميكانيكا، وتلك هي الحلقة المفرغة التي تدور فيها حجج الوضعية الجديدة هذه.

ان المحتوى الموضوعي للميكانيكا الكوانتية التي تعتبرها الوضعية الجديدة عن باطل، مصدرا لها، لا يتفق مع هذه الفلسفة الرجعية. واذا كان كثير من العلماء اللامعين قد تبنوا على الفور هذا التأويل الذي قدمته الوضعية الجديدة للميكانيكا الكوانتية، بواسطة مفهوم التكاملية، فاننا نشاهد، مع مرور الزمن، ازدياد الاستياء داخل صفوف الفيزيائيين الغربيين من هذا التأويل، ورغبتهم في التخلي عنه.

لقد سبق لنيكولسكى وبلوخينتسيف وغيرهما من العلماء السوفيات ان انتقدوا بشدة تأويل الوضعية الجديدة للميكانيكا الكوانتية واقترحوا تأويلا جديدا. وقد تسلم

(11)تدل هذه الدالة على ان مربع مودول Module دالة الموجة يساوي، في لحظة معينة، احتمال وجود الجسيم في النقطة التي تحددها الاحداثيات. م.ع.ص.

المبادرة بعد ذلك علماء أجانب مشهورون. وفي هذا الصدد تجدر الاشارة حاليا الى أعمال علماء كبار يتجهون هذا الاتجاه ( = المعارض للوضعية الجديدة) أمثال لوى دوبروى، وبوهم وج. فاسيل، وج. فيجي، ول. جانوسي، هؤلاء الذين لم يعودوا يكتفون بمعارضة التأويل الذي قدمه بور وهيزنبرغ، بل يقدمون بأبحاث مهمة للتغلب على الصعوبات التي تختبىء فيها المصادر الايبستيمولوجية للتأويل الذي تقول به الوضعية الجديدة.

ومما له دلالة خاصة في هذا الصدد، ذلك التحول الذي طرأ على موقف شرودنجر أحد مؤسسي الميكانيكا الكوانتية وأحد المتحمسين في الماضي للوضعية الجديدة. وتكشف الابحاث التي نشرها مؤخرا عن عدم رضاه بالتأويل الذي تقول به الوضعية الجديدة وعن رغبته في التخلي عنه. لقد تساءل شرودينجر في المقال الذي أصدره عام 1955 بعنوان «فلسفة التجربة» عن حقيقة الدور الذي تلعبه التجربة الفيزيائية في الميكانيكا الكوانتية، فاعترف بعدم موافقته على مبدأ القابلية للملاحظة الذي ينص على أن العلماء يجب أن لا يهتموا في أبحاثهم الفيزيائية الا بالملاحظات والقياسات الخالية من كل محتوى موضوعي. يقول شرودنجر «ما الفائدة من تجميع تجارب فارغة اذا كنا لا ندرس الظواهر الواقعية المشخصة «عظاما ولحما» ان صح القول، بل فقط معطيات خيالية»(12).

ان شرودنجر يناصر هنا الفكرة الصحيحة التي ترى أن موضوع الفيزياء ليس، نتائج الملاحظة التي تسفر عنها عملية القياس، بل حالات الموضوعات والظواهر الواقعية وخصائصها.

وهذا التخلي المتزايد في صفوف العلماء عن الوضعية الجديدة ناتج عن تعارض التأويل الذي تقدمه هذه الفلسفة مع المحتوى الموضوعي للعلوم الحديثة التي تدرس الطبيعة. ان العلم الراهن يقدم كل يوم معطيات تتكاثر باستمرار، معطيات تؤكد أن الفلسفة الوحيدة القادرة على توضيح الرؤية التي يتضمنها العلم عن العالم على شكل بذور، هي المادية الجدلية.»

---

ملاحظة:

يتناول فاطلييف في الفصول التالية أهم القضايا الفيزيائية منظورا اليها من منظور المادية الجدلية: ترابط المادة والحركة وعدم امكانية الفصل بينهما، تنوع أشكال المادة وحركتها ووحدة المظاهر الكيفية المختلفة التي تتجلى فيها المادة والحركة، ثم توقف المكان على الزمان والزمان على المكان على ضوء نظرية النسبية، الوحدة الحميمة بين المادة والمكان على ضوء خصائص المجالات الفيزيائية والجسيمات الاولية، الترابط بين المادة والمكان والزمان على ضوء نظرية النسبية المعممة.

---

(12) Schrödinger: The Philosophy of Experiment. Nuevo cimento. Vol I, 1955. p. 8.

هذا ومن الانصاف للحقيقة ان نسجل هنا ما يقوله فاطلييف - المتوفى في سنة 1959 - في هذه الفصول لا يخرج عن القضايا المبدئية والاستنتاجات العامة التي قال بها انجلز ولينين. وهذا ان دل على شيء فانما يدل على الجمود العقائدى الذي اصاب الماركسية في الفترة الستالينية، وهي نفس الفترة التي انتشرت فيها النزعات الوضعية التي أشار اليها المؤلف في هذا النص.

ومن جهة أخرى تجدر الاشارة الى أن العلماء الغربيين قد تخلوا عن آراء هذه الوضعية الجديدة منذ مدة. والمجال الاساسي الذي تهتم به الوضعية الجديدة اليوم هو المنطق والعلوم الانسانية. (المترجم).

# القيمة الموضوعية للعلم[1]

**بوانكاريه**

كثيرا ما أسيء فهم آراء بوانكاريه ونزعته المواضعاتية الخاصة، ولذلك يصنف عادة مع الوضعيين الجدد المنحدرين من ظاهراتية ماخ. لقد سبق أن أبرزنا (الفصل الخامس، القسم الاول) الصبغة الخاصة لـ «وضعية» بوانكاريه. وفي هذا النص الذي يناقش فيه مسألة الموضوعية في العلم نلاحظ عزوفه عن النزعة الظاهراتية. يرى بوانكاريه أن معرفتنا بالظواهر تتغير، وأن النظريات العلمية تتجدد باستمرار تبعا لذلك. ولكن هناك شيئاً يبقى ثابتا، موجودا وجودا موضوعيا يفرض نفسه على الجميع، هو العلاقات بين ظواهر الطبيعة، اي القوانين العلمية. ان الاسماء التي نعطيها لاشياء الطبيعة وظواهرها والتصورات التي ننشئها عنها، هي وحدها المتغيرة، اما العلاقات الموضوعية القائمة بينها فهي موجودة ثابتة. واذا كان بوانكاريه يقول في اخر النص: «كل ما ليس بفكرة هو عدم محض» فيجب أن لانحمل هذه العبارة ما لا تحمله ويجب ان لا نفصلها عن سياق تفكيره العام. انه هنا يرد على اسمية لوروا (راجع الفصل الخامس، القسم الاول). ان ما يريد أن يقوله هنا هو ان الاسماء لاقيمة لها وهي لاتعني شيئا آخر غير الافكار التي تعبر عنها. وهذه الافكار - لا الاسماء - هي وحدها الموجودة، ووجودها مستمد من كونها تعبر عن الحقيقة الموضوعية بشكل تقريبي، أي عن العلاقات القائمة بين ظواهر الطبيعة.

---

« ما هي القيمة الموضوعية للعلم؟ قبل الجواب عن هذا السؤال يجب أن نتساءل ماذا يجب ان نعنيه بالموضوعية؟

ان ما يضمن لنا موضوعية العالم الذي نعيش فيه، هو ان هذا العالم مشترك بيننا وبين كائنات أخرى مفكرة. فنحن نتلقى من أناس آخرين، بواسطة أنواع الاتصال التي تقوم بيننا وبينهم، أفكارا واستنتاجات جاهزة نعرف أنها ليست من عندنا، وفي نفس الوقت نتعرف فيها على عمل كائنات مفكرة مثلنا. وبما أننا نجد هذه الافكار

(1) Henri Poincaré: La valeur de la science, PP. 178–187. Flammarion. Paris 1970.

والاستنتاجات تتطابق مع عالم أحساساتنا، فاننا نحكم بان تلك الكائنات المفكرة رأت نفس الشيء الذي رأيناه نحن، وبهذا نعلم أننا لم نكن نحلم.

ذلك هو الشرط الاول للموضوعية. ان ما هو موضوعى يجب أن يكون مشتركا بين كثير من العقول، وبالتالي يجب أن يكون قابلا لان ينتقل من فكر الى آخر، وبما أن هذا الانتقال لا يمكن أن يتم الا بواسطة «الكلام»، هذا الكلام الذي حمل المسيو لوروا Le Royعلى كثير من الحذر والريبة، فاننا ملزمون باستخلاص النتيجة التالية: لولا الكلام ( =اللغة) لما كانت الموضوعية.

ستظل احساسات الغير، بالنسبة لنا، عالما مغلقا الى الابد، سأظل عاجزا عن الحكم عما اذا كان الاحساس الذي أسميه أحمر هو نفسه الاحساس الذي يسميه بنفس الاسم من هو بجانبى.

لنفرض أن حبة الكرز Cerise وزهرة الخشخاش Coquelicot ( = وهما حمراوان) تحدثان فيّ الاحساس «أ» وتحدثان في جارى الاحساس «ب»، ولنفرض، بالعكس، أن ورقة نباتية ( = خضراء) تحدث فيّ الاحساس «ب» وتحدث في جارى الاحساس «أ». من الواضح أننا - أنا وجاري - لانستطيع ابدا معرفة اي شيء عن ذلك، فأنا أسمى الاحساس «أ» بأسم أحمر، والاحساس «ب» بأسم اخضر، في حين يطلق هو على الاحساس الاول اسم أخضر، وعلى الاحساس الثاني اسم أحمر. كل ما يمكن أن يلاحظه كل منا هو أن حبة الكرز وزهرة الخشخاش قد أحدثتا فيه نفس الاحساس. ان جاري يطلق نفس الاسم على الاحساسين اللذين يحس بهما ازاء الكرز والخشخاش، وأنا أفعل نفس الشيء كذلك.

واذن، فالاحساسات لا تقبل النقل ( = من شخص لاخر)، أو على الأصح، أن كل ما هو كيفى خالص في الاحساسات لايقبل النقل ويظل أبدا غير قابل للفهم والادراك. ولكن ليس الامر كذلك بالنسبة للعلاقات بين الاحساسات.

والنتيجة، من وجهة النظر هذه، هي أن كل ما هو موضوعي يخلو تماما من كل كيفية، اذ ليس سوى علاقة خالصة. وبالتأكيد، فأنا لا أذهب الى القول بأن الموضوعية ليست سوى كمية خالصة، (ان هذا سيؤدي الى المبالغة في تخصيص طبيعة العلاقات التي نتحدث عنها)، ولكنى أعنى بوضوح أننى لا أعتقد ان هناك من يسمح لنفسه بالانزلاق الى القول: إن العالم ليس سوى معادلة تفاضلية.

ونحن اذ نبدى تحفظات ازاء هذا القول الذي لا يخفى ما ينطوي عليه من تناقض، نرى من الواجب أن نسلم، مع ذلك، بأنه لا شيء يكون موضوعيا مالم يكن قابلا للنقل ( = من شخص لاخر)، وبالتالي فان العلاقات القائمة بين الاحساسات هي وحدها التي يمكن أن تكون لها قيمة موضوعية.

ربما يقال: أن الانفعال بالجمال، وهو مشترك بين جميع الناس دليل على أن كيفيات احساساتنا هي هي بالنسبة لجميع الناس أيضا، ومن ثمة فهي موضوعية، ولكن عندما نفكر في الامر نجد أن الدليل على ذلك لم يقم بعد. إن ما يبرهن عليه اشتراك الناس في الانفعال بالجمال هو أن هذا الانفعال قد تولد عند أحمد وعند ابراهيم بتأثير الاحساسات التي يطلق عليها كل من أحمد وابراهيم نفس الاسم، او بواسطة التنسيق بين هذه الاحساسات. وذلك إما لان هذا الانفعال مرتبط عند أحمد بالاحساس «أ» الذي يسميه أحمر، ومرتبط كذلك عند ابراهيم بالاحساس «ب» الذي يطلق عليه بدوره اسم أحمر، وإما لان هذا الانفعال قد تولد لاعن الجوانب الكيفيه في الاحساسات، بل عن التأليف المنسجم بين علاقاتها، ذلك التأليف الذي يحدث فينا انطباعات لاواعية.

يكون هذا الاحساس أو ذلك جميلا، لا لانه يمتلك هذه الكيفية أو تلك، بل لانه يحتل هذا المكان أو ذاك في شبكة تداعي المعاني بحيث لا يمكن اثارة هذا الاحساس بدون تحريك الجانب المناظر للانفعال الفني.

وهكذا، فسواء نظرنا الى المسألة من الزاوية الاخلاقية أو الجمالية أو العملية فاننا نجد أنفسنا أمام نفس الشيء: ليس هناك من شيء موضوعي الا ما له نفس الهوية بالنسبة للجميع. ونحن لا نستطيع القول أن شيئا ما هو هو بالنسبة للجميع الا اذا كنا نستطيع القيام بالمقارنة، الا اذا كنا نستطيع ترجمته الى «عملة للتبادل» تقبل الانتقال من فكر الى فكر. واذن، فلا يمتلك القيمة الموضوعية الا ما يقبل الانتقال بواسطة الكلام اى ما يقبل الادراك العقلي.

بيد أن هذا ليس سوى جانب واحد من المسألة. ذلك لانه اذا كانت المجموعة التي تخلو تماما من كل ترتيب لا يمكن أن تكون لها أية قيمة موضوعية، لكونها غير قابلة للادراك العقلي، فان المجموعة المرتبة ترتيبا جيدا يمكن أن لا تكون لها هي الاخرى أية قيمة موضوعية اذا لم تكن تناظر احساسات مشعورا بها فعلا. أعتقد أنه من نافلة القول التذكير بهذا الشرط، ولم يكن ليخطر ببالي لولا أن هناك من ندب نفسه مؤخرا للدفاع عن الفكرة القائلة أن الفيزياء ليست علما تجريبيا[1]. وعلى الرغم من أن هذا الرأي لا يحظى قط بالقبول، لا من جانب الفيزيائيين ولا من طرف الفلاسفة، فمن المفيد التحذير منه حتى لا ننزلق مع الهاوية التي يقود اليها. لابد، اذن من توفر شرطين ( = لقيام الموضوعية). واذا كان الشرط الأول يفصل الواقع[2] عن الحلم فان الثاني يميز الواقع عن القصة (= أو الرواية).

---

(1) يشير الى النزعة التي تريد ان تجعل من الفيزياء علما اكسيوميا كالهندسة دالامبير مثلا. المترجم.

(2) استعمل هنا كلمة واقعي كمرادف الموضوعي مسايرة للاستعمال الشائع. وقد اكون مخطئا، لان احلامنا واقعية، ولكنها ليست موضوعية. (بوانكاريه).

والان نتساءل: ما هو العلم؟... أنه قبل كل شيء تصنيف،انه طريقة للتقريب بين الحوادث التي تفصل بينها المظاهر مع انها مرتبطة فيما بينها بقرابة طبيعية وخفية. وبعبارة أخرى: العلم منظومة من العلاقات. وكما قلنا قبل قليل، فان الموضوعية يجب أن تبحث عنها في العلاقات وحدها. أما البحث عنها في الكائنات التي ينظر اليها منعزلة عن بعضها بعضا، فشيء لا طائل تحته.

والقول بأن العلم لا يمكن أن تكون له قيمة موضوعية لكونه لا يكشف لنا الا عن العلاقات، هو قلب للاستدلال، لان العلاقات بالضبط، هي وحدها التي يمكن اعتبارها موضوعية.

ان الموضوعات الخارجية مثلا، وهي التي ابتكرت من أجلها كلمة موضوع، هي فعلا موضوعات، وليست مجرد مظاهر سريعة الزوال وغير قابلة للادراك، لأنها ليست فقط ركاما من الاحساسات، بل هي مجموعات من الاحساسات الملتحمة فيما بينها برابطة ثابتة. وهذه الرابطة هي وحدها التي تشكل الموضوع في هذه المظاهر، وهي عبارة عن علاقة.

واذن، فعندما نتساءل: ما هي القيمة الموضوعية للعلم فان السؤال لا يعني: هل العلم يمكننا من معرفة طبيعة الاشياء على حقيقتها بل انه يعني: هل بامكان العلم أن يكشف لنا عن العلاقات الحقيقة التي تقوم بين الاشياء؟

لا اعتقد أن أحدا يتردد في الجواب بالنفي عن السؤال الاول، بل يمكنني الذهاب الى أبعد من هذا: فليس العلم وحده هو العاجز عن الكشف عن طبيعة الاشياء، بل لا شيء يستطيع أن يكشف لنا عنها. واذا كان هناك اله يعرفها، فانه لن يجد الكلمات التي يعبر بها عنها. اننا لا نستطيع قط التكهن عن الجواب، بل لا نستطيع فهم أي شيء في هذا الجواب اذا ما قدم الينا. وأكثر من ذلك أتساءل: هل نحن نفهم السؤال؟

عندما تزعم نظرية ما انها تكتشف لنا عن ماهية الحرارة أو الكهرباء أو الحياة فانها ستكون نظرية محكوما عليها مسبقا. إن كل ما تستطيع هذه النظرية امدادنا به، هو صورة غير دقيقة، وبالتالي فهي اذن نظرية مؤقتة وملغاة.

واذا استبعدنا السؤال الاول يبقى السؤال الثاني، وهو: هل يمكن للعلم أن يكشف لنا عن العلاقات الحقيقية القائمة بين الاشياء؟ هل يجب الفصل بين ما يربطه العلم؟ أم هل يجب الربط بين ما يفصل بينه؟

لكي نفهم مدلول هذا السؤال الجديد يجب الرجوع الى ما قلناه أعلاه حول شروط الموضوعية، ومن ثمة التساؤل: هل تمتلك هذه العلاقات قيمة موضوعية؟ أي هل يرى الناس في هذه العلاقات نفس الشيء؟ وهل سيكون الامر كذلك بالنسبة للاجيال اللاحقة؟

من الواضح ان الجاهل والعالم لا يريان في هذه العلاقات نفس الشيء. ولكن هذا لا يهم. فاذا كان الجاهل لا يدرك في الحين هذه العلاقات، فبامكان العالم أن يجعله يدركها بواسطة سلسلة من التجارب والاستدلالات. المهم هو أن تكون هناك نقط يستطيع أن يتفق عليها جميع اولئك الذين هم على اطلاع على التجارب المجراة. ومن ثمة تصبح المسألة، هي مسألة ما اذا كان هذا الاتفاق سيستمر ويظل قائما لدى من سيأتي بعدنا، ومن هنا نتساءل: هل سيؤكد علم الغد ما يقرره علم اليوم؟ واذا كان من غير الممكن تأكيد ذلك بصفة قبلية، فان الواقع يؤكده: فلقد عاش العلم ما يكفي من الوقت، بحيث اذا نحن استنطقنا تاريخه أمكننا أن نعرف ما اذا كانت الصروح التي يشيدها تقاوم مغالبة الزمن لها، أم انها ليست سوى صروح عابرة.

فماذا يدل عليه تاريخ العلم اذن؟ يبدو من الوهلة الاولى أن النظريات لا تدوم الا يوما واحدا، وان الانقاض تتراكم فوق الانقاض. تنشأ النظريات ذات يوم، وتصبح موضة في اليوم التالي، ثم تصير كلاسيكية في اليوم الذي يليه، بالية في اليوم الثالث، منسية في اليوم الرابع. ولكن، عندما ننظر الى الامر عن قرب نجد أن الذي يتهاوى بهذا الشكل هو النظريات بمعنى الكلمة للنظرية، أي تلك التي تزعم انها تكشف لنا عن ماهية الاشياء. ومع ذلك فهناك في النظريات شيء يبقى في الغالب حيا. فاذا كشفت لنا احدى النظريات عن علاقة حقيقية، فان هذه العلاقة تصبح مكسبا بصفة نهائية، وسنجدها بثوب جديد في النظريات الاخرى التي ستحل محل تلك النظرية.

لنأخذ مثالا واحدا فقط: كانت نظرية تموجات الاثير تقول: إن الضوء حركة. أما النظرية المفضلة اليوم، النظرية الكهرطيسية، فهي تقول: الضوء تيار. لننظر، اذن، فيما اذا كان من الممكن التوفيق بين هاتين النظريتين، والقول بأن الضوء تيار، وان هذا التيار حركة؟ من المحتمل على كل حال، ان لاتكون هذه الحركة هي نفس الحركة التي كان يقول بها انصار النظرية القديمة، وبالتالي يصبح من الممكن التسليم بالرأي الذي يقول إن هذه النظرية قد انتهى أمرها. ومع ذلك، هناك شيء في هذه النظرية ما يزال حيا. فالتيارات التي افترضها ماكسويل تنتظمها نفس العلاقات التي تنتظم الحركات التي قال بها فرينل. واذن، هناك شيء ظل وسيظل قائما، وهذا هو المهم. وهذا نفسه هو ما يفسر لنا كيف أن الفيزيائيين ينتقلون بسهولة من لغة فرينل الى لغة ماكسويل.

ليس ثمة شك في أن كثيرا مما كان العلم قد أقره، قد وقع التخلي عنه اليوم، ولكن معظمه ما زال قائما ويبدو أنه سيظل قائما. فما هو اذن مقياس موضوعيته؟

ليس هذا المقياس شيئا آخر، سوى ذلك الذي نقيس به اعتقادنا بوجود موضوعات خارجية. اننا نعتقد في واقعية هذه الموضوعات لان الاحساسات التي تثيرها فينا، احساسات متلاحمة، لا بمجرد الصدفة بل بلحام لا يقبل الانفصام. وبالمثل فان العلم

يكشف لنا في الظواهر عن روابط أخرى أكثر دقة ورهافة، ولكنها ليست أقل صلابة. انها خيوط رفيعة جدا الى درجة انها ظلت غير مفطون بها لمدة طويلة. ولكن بمجرد ما وقع الانتباه اليها لم يعد هناك من وسيلة تمنعنا من رؤيتها. انها اذن، ليست أقل واقعية من تلك الروابط التي تمنح للاشياء الخارجية واقعيتها. واذا كنا نتعرف اليوم على هذه الروابط بشكل أدق وأوسع، فان ذلك لا يهم. لان معرفتنا بها اليوم، لا تلغي المعرفة التي كانت لدينا عنها أمس.

يمكن القول مثلا أن الاثير ليس أقل واقعية من أي جسم خارجي، ذلك لان القول بأن هذا الجسم موجود معناه القول بأن بين لون هذا الجسم وطعمه ورائحته رابطة حميمة متينة ودائمة. والقول بأن الاثير موجود معناه القول بوجود قرابة طبيعية بين جميع الظواهر الضوئية. واحدى هاتين القضيتين لا تقل قيمة عن الاخرى. وأكثر من ذلك فالتراكيب العلمية هي أكثر واقعية من تأليفات الحس المشترك لانها تشمل عددا أكبر من الجوانب وتعمل على امتصاص التراكيب الجزئية.

سيقال أن العلم ليس سوى تصنيف، وأن التصنيف لا يمكن أن يكون حقيقيا، بل هو ملائم فقط. صحيح أنه ملائم ولكن، ليس فقط بالنسبة لي، بل بالنسبة لجميع الناس، وسيظل ملائما بالنسبة لمن سيأتي بعدنا. وهذا لا يمكن أن يكون مجرد صدفة.

والخلاصة أن الواقع الوحيد الذي يمكن وصفه بأنه موضوعي هو العلاقات القائمة بين الاشياء، التي ينتج عنها الانسجام الكلي. ولا شك أن هذه العلاقات وما يترتب عنها من انسجام لا يمكن تصورها خارج عقل يدركها أو يشعر بها. وهي موضوعية لانها مشتركة بين جميع الكائنات المفكرة وستبقى كذلك....

كل ما ليس بفكرة هو عدم محض، لاننا لا نستطيع التفكير الا في الفكرة، وان جميع الكلمات التي نتوفر عليها قصد الكلام عن الاشياء لا تستطيع أن تعبر الا عن الافكار. والقول بوجود شيء آخر غير الفكرة هو اذن تأكيد ليس له معنى.

ومع ذلك - وهذا موضوع تناقض غريب بالنسبة لمن يعتقدون في الزمان - فان التاريخ الجيولوجي يبين لنا أن الحياة ليست سوى فصل قصير بين موتين أبديين، وان الفكرة الواعية لم تدم ولن تدوم، في هذا الفصل نفسه، الا لحظة. ان الفكرة ليست سوى برق وسط ليل طويل.

ولكن هذا البرق هو كل شيء ».

# المفاهيم الفيزيائية
# وموضوعية العالم الخارجي(1)

**اينشتين**

يشبه رأي اينشتين، في كثير من الوجوه، رأي بوانكاريه في موضوع المعرفة الفيزيائية وعلاقتها بالواقع الموضوعي. فكما أن بوانكاريه يقول ان المفاهيم العلمية هي عبارة عن مواضعات أو مصطلحات يضعها العلماء للتعبير عن أفكارهم حول الواقع ومظاهره. هذا الواقع الذي تتجدد معرفتنا به، بتجدد العلم وتقدمه، على طريق الاقتراب المستمر من حقيقة هذا الواقع، يرى اينشتين، من جهته ان المفاهيم العلمية ابداعات حرة للفكر البشري، يحاول بواسطتها أن يكون لنفسه صورة عن الواقع أقرب ما تكون من حقيقة هذا الواقع نفسه، حقيقته التي يقترب منها العلم دون أن يتمكن من الامساك بها كلها كما هي. واذن فلا بوانكاريه - كما رأينا في النص السابق - ولا اينشتين - كما سنرى في هذا النص - يضعان الواقع الموضوعي موضوع شك، فلم يربطه أي منهما بالذات وبادوات القياس، بل يؤمنان بوجوده الموضوعي وباطراد حوادثه وبقدرة الفكر البشري على السير قدما لاكتناه أسراره.أما القول بأن المفاهيم العلمية مجرد مواضعات أو انها ابداعات حرة للفكر البشري فهو انما يعكس مرحلة من تطور العلم، المرحلة التي عاشها العلم في بداية هذا القرن والتي شهدت تحولا أساسيا في المفاهيم الفيزيائية نتيجة قيام نظرية النسبية ونظرية الكوانتا. ولقد كانا من المناصرين لهذا التحول ومن زعمائه

---

**« المفاهيم الفيزيائية ابداعات حرة للفكر البشري، وليست كما يمكن أن يعتقد، محددة فقط من طرف العالم الخارجي وحده. والمجهود الذي نبذله لفهم العالم يجعلنا أشبه ما نكون بالرجل الذي يحاول فهم آلية ساعة مغلقة. فهو يرى ميناءها ويشاهد حركة عقاربها، ، ويسمع صوتها، ولكنه لا يمتلك أية وسيلة تمكنه من فتح صندوقها الصغير.**

---

(1) Albert Einstein et Léopold infild: l'évolution des idées en physique. Petite Bib. Pavot Paris: 1974.

واذا كان هذا الرجل على قدر كبير من الذكاء فانه يستطيع أن يكون لنفسه صورة ما عن جهازها الداخلي الذي يعتبره مصدر حركة عقاربها، ولكنه لن يكون قط على يقين بأن الصورة التي كونها في ذهنه عن حقيقة التركيب الداخلي لهذا الجهاز، هي وحدها القادرة على تفسير ملاحظاته. انه لن يتمكن قط من مقارنة صورته الذهنية هذه مع الجهاز الواقعي بل انه لا يستطيع حتى تصور امكانية او دلالة مثل هذه المقارنة.

غير ان الباحث ( = الفيزيائي) يعتقد، بكل تأكيد، أنه بمقدار ما تنمو معلوماته، بمقدار ما تصير الصورة الذهنية التي يكونها عن الواقع، أكثر بساطة وأقدر على تفسير ميادين تتسع أكثر فأكثر، ميادين انطباعاته الحسية. انه يستطيع أن يعتقد كذلك بوجود حد امثل للمعرفة التي يستطيع الفكر البشري بلوغها. ويمكن أن يطلق على هذا الحد الامثل اسم: الحقيقة الموضوعية.... » (ص 34 -35).

« ليس العلم مجموعة من القوانين ولا قائمة لاحداث غير مرتبطة بعضها مع بعض. انه ابتكار للفكر البشري شيده بواسطة أفكار ومفاهيم ابتدعها بكل حرية. والنظريات الفيزيائية تحاول صياغة صورة عن الواقع وربط هذه الصورة بعالم الانطباعات الحسية الواسع. وهكذا فبناءاتنا الذهنية انما تجد تبريرها عندما تنجح في اقامة مثل هذه الرابطة وفي الكيفية التي تقيمها بها.

لقد رأينا ( = في الكتاب) أنواعا من الواقع تنشأ بتقدم العلم. ويمكن ان نرجع بهذه السلسلة من النشاط الخلاق الى ما قبل نقطة انطلاق الفيزياء بكثير.

من جملة المفاهيم الاولية ( = الابتدائية) مفهوم الموضوع. ان مفهوم الشجرة، ومفهوم الحصان، أو مفهوم اي جسم مادي، مفاهيم انشأها الفكر البشري، ولها اساس في التجربة، على الرغم من أن الانطباعات الحسية التي استقيناها منها انطباعات بدائية، و بالقياس الى عالم الظواهر الفيزيائية. والقط الذي يعذب فأرا ينشىء - في نفسه - بواسطة الفكر، واقعا بدائيا. فكونه يرد الفعل دائما بنفس الشكل ازاء اي فأر يصادفه، دليل على انه يكون لنفسه مفاهيم ونظريات تقوده في عالم الانطباعات الحسية الخاص به.

« ثلاثة أشجار » شيء يختلف عن « شجرتين اثنتين » من جهة، ومن جهة اخرى فـ « شجرتان اثنتان » و « حجران اثنان » شيئان مختلفان كذلك. هكذا بمفاهيم الاعداد المحضة 2، 3، 4... المستخلصة من الموضوعات التي منحتها الوجود، هي منشآت للعقل المفكر، منشآت نصف واقع عالمنا.

والشعور الذاتي بالزمان يمكننا من ترتيب انطباعاتنا وجعل حادث ما سابقا لحادث آخر. وأما ربط كل لحظة من الزمان برقم، باستعمال آلة ضبط الوقت، والنظر الى الزمان كمتصل ذي بعد واحد، فهذا ابتكار واختراع. ومثل ذلك أيضا مفاهيم الهندسية

الاوقليدية واللاأوقليدية ومفاهيم المكان الذي نعيش فيه والذي نعتبره متصلا ذا ثلاثة ابعاد.

لقد بدأت الفيزياء بداية فعلية عندما اخترعت مفهوم الكتلة ومفهوم القوة ومفهوم منظومة العطالة، وجميع هذه المفاهيم ابداعات حرة، وقد قادت الى صياغة وجهة النظر الميكانيكية. وهكذا فبالنسبة لعالم الفيزياء الذي عاش في اوائل القرن التاسع عشر كان واقع عالمنا الخارجي مؤلفا من ذرات وقوى بسيطة تتجاذبها، وتتوقف هذه القوى، فقط على المسافة التي تفصل بين تلك الذرات. لقد كان هذا العالم يحرص أشد الحرص على الحفاظ أطول وقت ممكن على ايمانه بأنه سينجح في تفسير جميع حوادث الطبيعة بواسطة هذه المفاهيم الاساسية التي تعبر عن الواقع. ولقد قادتنا الصعوبات الناجمة عن انحراف الابرة الممغنطة والصعوبات الراجعة الى بنية الاثير، الى إنشاء واقع اكثر دقة. يتعلق الأمر بظهور ذلك الاكتشاف الهام، اكتشاف المجال الكهرطيسي. ولقد كان لابد من خيال علمي جريء لاثبات ان ما هو أساسي بالنسبة لترتيب الحوادث وفهمها ليس سلوك الاجسام ذاتها، بل سلوك شيء ما يوجد بينها، اي المجال.

وهكذا عملت التطورات اللاحقة على هدم المفاهيم القديمة وخلق مفاهيم جديدة. فلقد تخلت نظرية النسبة عن الزمان المطلق وعن المنظومات الاحداثية القائمة على مبدأ العطالة، ولم يعد الزمان ذو البعد الواحد والمكان ذو الابعاد الثلاثة يشكلان الارضية الخلفية للحوادث. بل اصبحت هذه الارضية الخلفية عبارة عن زمكان (الزمان - المكان) ذي اربعة ابعاد، وهو ابتكار حرآخر، ذو خصائص تحويلية جديدة. ان منظومة الاحداثيات القائمة على مبدأ العطالة لم تعد ضرورية، فبامكان اية منظومة احداثية ان تساعد هي كذلك على وصف الحوادث التي تجري في الطبيعة.

اما نظرية الكوانتا فقد انشأت بدورها صياغات جديدة أساسية لواقعنا، لقد حل الانفصال محل الاتصال، والقوانين الاحتمالية (= التي «تحدد» سلوك المجموعات)، تحل القوانين السببية (التي تحدد سلوك الافراد).

والحق ان الواقع الذي انشأته الفيزياء الحديثة هو ابعد ما يكون عن الواقع الذي عرفه العلم عند بداية قيامه. ومع ذلك فان هدف كل نظرية فيزيائية هو نفسه دوما.

اننا نحاول، بواسطة النظريات الفيزيائية، شق طريقنا وسط متاهات الحوادث التي نلاحظها، وتنظيم وفهم عالم انطباعاتنا الحسية راغبين في ان نجعل من الحوادث التي نلاحظها نتائج منطقية للمفهوم الذي لدينا عن الواقع. انه بدون الايمان بامكانية ادراك الواقع والامساك بتلابيبه بواسطة انشاءاتنا النظرية، وبدون الايمان بالانسجام الداخلي لعالمنا، لن تقوم للعلم قائمة. وسيبقى هذا الايمان دوما الحافز الأساسي لكل ابتكار علمي. ومن خلال جميع مجهوداتنا، ومن خلال كل صراع ماساوي بين المفاهيم القديمة والمفاهيم الجديدة، نتعرف على تلك الرغبة الابدية التي تحدونا الى الفهم، وعلى

ذلك الايمان الصامد دوما، الايمان بانسجام عالمنا، الايمان الذي توطده باستمرار العوائق التي تعترض فهمنا.» (ص 274-276).

# باشلار والعقلانية الجديدة

ندرج هنا ثلاثة نصوص لكاستون باشلار الذي عرفت مؤلفاته مؤخرا، وفي فرنسا خاصة، اهتماما متزيدا. وعلى الرغم من اننا اخترنا هذه النصوص من مؤلفات مختلفة للعالم الفيلسوف باشلار. فانها تشكل وحدة متكاملة، وتصلح لان تكون تركيبا للنصين السابقين (نص بوانكاريه ونص اينشتين)، بل تركيبا جدليا المختلف الاتجاهات الايبستيمولوجية التي تناولت مشكلة المعرفة العلمية عقب الثورة الكوانية

يتناول النص الاول الانقلاب الذي احدثته نظرية الكوانتا في الفكر العلمى الحديث في مجال تصور الواقع. ان الموضوع العلمى لم يعد معطى حسيا. بل هو انشاء عقلى. اي تنظيم عقلانى للعلاقات التي تربط الظواهر التي اصبح من غير الممكن التعامل معها بنفس الشكل الذي كانت تتعامل به معها الفيزياء الكلاسيكية. ان الواقع العلمي اليوم اصبح عبارة عن بنيات. لا عن كائنات

اما النص الثاني فهو يتناول النزعة الواقعية العامية على ضوء هذا التطور نفسه. ان الشيء في الميكروفيزياء يفقد فرديته ويصبح عنصرا في مجموعة. ونحن لا نتعرف عليه الا من خلال علاقاته بالمجموعة التي ينتمي اليها. واذن فالتصور العامي الجديد للواقع تصور رياضى لافيزيائي واقعى، بالمعنى العادي لكلمة واقعية. ان الواقعية التي ينتقدها باشلار هنا هي الواقعية التي تنسب الى الموضوعات العلمية نفس الواقعية التي ننسبها للظوهر التي نعيش في كنفها في العالم الماكروسكوبي ومن هنا يرفض باشلار النزعة التجريبية كما يرفض النزعة المثالية او العقلانية الكلاسيكية التي تنسب الى الفكر مبادىء قبلية

وفي النص الثالث يأتى البديل. انه «**العقلانية العلمية**» او **العقلانية الرياضية أو** «**العقلانية التطبيقية**» **أو** «**الفلسفة المفتوحة**» وهي جميعا أوصاف يصف بها باشلار فلسفته العلمية. وتعنى شيئا واحدا: العقلانية التي تقوم على الحوار بين العقل والتجربة. وترفض الانطلاق من مبادىء قبلية كما ترفض ربط الفكر وعملياته بالمعطيات التجريبية وحدها. لقد قرر باشلار في النص الاول ان الواقع العلمى بنية لا كائنات او اشياء. وهو هنا يقرر ان الفكر هو ايضا بنية تتشكل من خلال الممارسة العلمية، واذن فنحن هنا امام نفس النتيجة التي انتهينا اليها عند استعراضنا لتطور الفكر الرياضي. ان الفكر الرياضي الحديث والفكر الفيزيائي الحديث يلتقيان بل يندمجان في تصور واحد للمعرفة. (راجع الفصل الخامس من الجزء الاول من هذا الكتاب)

## 1- بين علم الامس وعلم اليوم.

«لقد كان الاعتقاد السائد، الى نهاية القرن الماضى، ان معرفتنا بالواقع معرفة موحدة. وان التجربة هي التي تجعلها كذلك... واكثر من هذا كله كان ذلك هو النتيجة التي تلتقى عندها اكثر الفلسفات تعارضا. وفعلا تكتشف التجربة عن طابعها الموحد من ناحيتين: فالتجريبيون يرون ان التجربة موحدة ومنتظمة في جوهرها. لان مصدر المعرفة عندهم هو الاحساس. اما المثاليون فيرون أن التجربة منتظمة وموحدة لانها تستعصي على العقل، فلا يخترقها ولا ينفذ اليها. وهكذا فالكائن التجريبي يشكل، سواء في حالة قبوله أو حالة رفضه، كتلة مطلقة (= Bloc جسم لا يقبل الاختراق مثل السد). وعلى كل، فلقد كان العلم السائد في القرن الماضي، والذي كان يعتقد أنه قد ابتعد عن كل اهتمام فلسفي يقدم نفسه كمعرفة موحدة منسجمة، كعلم بالعالم الخاص بنا، كمعرفة لها علاقة وطيدة بالتجربة اليومية. في نفس الوقت الذي ينظمها عقل كوني ثابت، وتتوافق مع مصلحتنا المشتركة وتنال تزكيتها، لقد كان العالم حسب عبارة كونراد Conrad. «واحد منا» يعيش في واقعنا. ويتداول أشياءنا. ويتعلم من الظواهر التي نعيشها، ويجد البداهة في وضوح حدوسنا. لقد كان ينمي استدلالاته ويعالج براهينه باتباع هندستنا وميكانيكانا. معرضا عن مناقشة مبادىء القياس، تاركاً العالم الرياضي مع بديهياته ومسلماته. لقد كان يقوم بتعداد الاشياء المنفصلة دون ان يكون في حاجة الى افتراض انواع اخرى من الأعداد غير تلك التي الفناها وتعودنا استعمالها كان هناك نوع واحد من الحساب مشترك بيننا وبينه، كان العلم والفلسفة يتحدثان معا نفس اللغة. اما تلامذتنا الفلاسفة فلقد كانوا يدرسون هذا العلم نفسه، العلم التجريبي الذي تنص عليه التعليمات والبرامج الوزارية. لقد كنا نقول للتلاميذ: عليكم بالميزان والقياس والعدد وتجنبوا المجردات والقواعد العامة. لقد كان الشعار السائد هو: عودوا الاذهان الشابة على الارتباط بالمشخص والاهتمام بالحوادث. أنظر كي تفهم! ذلك هو المثل الاعلى لهذه البيداغوجية الغربية، ولا يهم اذا انطلق الفكر، بعد ذلك، من الظاهرة التي اسيئت رؤيتها، او من التجربة التي اسيء القيام بها. ولا يهم كذلك اذا انطلقت الرابطة الايبستيمولوجية المصاغة بهذا الشكل، من الملاحظة المباشرة ومنطقها البدائي، لتجد تحقيقها دوما في التجربة العامية، بدلا من ان تنطلق تلك الرابطة من ابحاث مبرمجة

عقلانيا لتصل الى عزل الحادث العلمي وتعريفه تجريبيا. الحادث العلمي الذي هو دوما حادث مصنوع ودقيق وخفي.

ولكن ها هي الفيزياء المعاصرة تحمل الينا أخبار عالم مجهول، أخبارا محررة بلغة «هيروغليفية» حسب تعبير ألمسيو والتر ريز، walterRitz لغة نحس عندما نحاول الكشف عن ألغازها، أن رموزها المجهولة لا تقبل الترجمة، بكيفية مرضية الى مستوى عاداتناالسيكولوجية، رموزا تستعصي بكيفية خاصة على الطريقة التي اعتدناها في التحليل والتي جعلتنا نتعود فصل الشيء عن نشاطه ( = حركته) هل هناك في عالم الذرة المجهول اندماج وانصهار بين العقل والكائن بين الموجة والجسم؟ هل ينبغي الحديث عن مظاهر متكاملة أم عن أنواع من الواقع متكاملة؟ ألا يتعلق الامر بتضافر أعمق بين الشيء والحركة، بطاقة معقدة يلتقي فيها ما هو موجود وما سيكون؟ وأخيرا فاذا كانت هذه الظواهر ( = الذرية) الملتبسة المتداخلة لا تشير الى الاشياء التي ألفناها، فان التساؤل عما اذا كانت هذه الظواهر تشير فعلا الى أشياء يطرح مشكلة ذات أهمية فلسفية بالغة؟ ومن هنا ذلك الاضطراب العام الذي أصاب المبادىء الواقعية المتعلقة بالنمو الخاص باللانهاية الصغرى. لقد أصبح الاسم الموصوف في هذه التراكيب الجديدة غير معرف بدقة، الشيء الذي يفقده مكانته الرئيسية في الجملة لم يعد الشيء هو القادر على امدادنا بمعلومات كما ترتئي ذلك النزعة التجريبية. ان الشيء الميكروسكوبي لا يزيدنا معرفة عندما نعزله، فالجسم المعزول يتحول الى مركز اشعاعي لظاهرة أكبر. أما اذا نظر اليه من خلال دوره الفيزيائي، فانه ينحل الى وسيلة التحليل، أكثر من ظهوره كموضوع للمعرفة التجريبية. انه حجة عقلية وليس عالما للاستكشاف. وسيكون مما لا طائل تحته السير بالتحليل الى درجة يصبح معها الشيء الواحد معزولا من جميع الجهات، لان هذا الشيء الوحيد يفقد بذلك، فيما يبدو، الخصائص التي تجعل منه جوهرا. ان الخصائص التي من هذا النوع لا توجد الا فوق العالم الميكروسكوبي لا تحته.. ان جوهر اللانهائي في الصغر متزامن مع العلاقة وملازم لها.

واذن، فبما أن الواقع يصبح غير قابل للتفرد والتميز فيزيائيا كلما غصنا في أعماق فيزياء الاشياء اللانهائية الصغر، فان العالم الباحث سيعطي أهمية أكبر لنظام العلاقات في تجاربه بمقدار ما يدقق هذه التجارب وبما أن القياس الدقيق معقد دوما، فهو اذن تجربة منظمة على أساس العلاقات. وتلك هي الهزة الثانية التي أصابت الايبستيمولوجية المعاصرة وعلينا أن نبرز أهميتها الفلسفية. وحسب ما يظهر فان البناء الرياضي للفرضيات الميتافيزيقية يكذب النظرية التي تنسب الى الفرضيات دورا مؤقتا عابرا. لقد كان ينظر الى الفرضيات العلمية، في القرن التاسع عشر، كتنظيات تخطيطية وحتى

بداغوجية، وكان يحلو للناس أن يكرروا القول بأنها مجرد وسائل للتعبير. لقد كان الاعتقاد السائد هو أن العلم واقعي بموضوعاته. فرضي بالروابط التي تربط هذه الموضوعات وكان الباحثون يتخلون عن الفرضيات بمجرد ما يعترضهم ادنى تناقض أو أدنى صعوبة تجريبية، فدور الفرضيات كان ينحصر في الرابط بين الاشياء، وكانت الفرضيات نفسها مجرد مواضعات. ذلك ما كان يحصل وكأنه كانت هناك وسيلة اخرى لجعل مواضعة علمية ما تتصف بالموضوعية غير طابعها العقلي. أما اليوم فلقد قلب الفيزيائي الجديد رأسا على عقب، ذلك الافق الذي رسمه للفرضية، وبصبر، المسيو فاينجر Vaihinger . لقد أصبحت الموضوعات يعبر عنها بواسطة التشبيهات، أما الواقع فهو تنظيم تلك الموضوعات في علاقات. وبعبارة أخرى، إن ما هو فرضي الان هو ما كنا نعتبره ظواهر، ذلك لان الاتصال المباشر بالواقع أصبح مجرد معطى مبهم ومؤقت واصطلاحي. إن الاتصال بالظواهر يتطلب احصاء وتصنيفا، وذلك على العكس من التفكير فهو وحده الذي يعطي معنى للظاهرة الاصلية، وذلك بالقيام بأبحاث مترابطة ترابط المجموعة العضوية، أنه يفتح آفاقاً عقلية للتجارب. لم يعد في مستطاعنا منح ثقتنا، قبليا، للمعلومات التي يزعم المعطى المباشر أنه يمدنا بها. لم يعد هذا المعطى حكما ولا شاهدا، بل انه اصبح متهما. ولا بد من أن نتمكن آجلا أو عاجلا من اثبات انه يكذب. ولذلك، فالمعرفة العلمية هي دوما اصلاح لوهم، وآذن لم يعد في امكاننا النظر الى الوصف الذي نقوم به للعالم المباشر، مهما كان هذا الوصف دقيقا الا كفينومينولوجيا للعمل، وذلك في نفس المعنى الذي كانت تستعمل فيه من قبل، عبارة: فرضية للعمل ».

(Noumène et microphisique, in Etudes sur l'évolution d'un problème de physique. Ed. Vrin 1970).

# 2 - مفهوم الواقع في العلم الحديث

« ... لقد أبرز كثير من الفيزيائيين هذا التلاشي المفاجىء الذي تتعرض له فردية الجسيم في الفيزياء المعاصرة. ذلك ما نبه اليه بكيفية خاصة، كل من لانجوفان وبلانك. وقد أشار مارسيل بول الى الاهمية الفلسفية التي يكتسيها هذا الرأي، فقال(1): « فكما قضت نسبية اينشتين على المفهوم القديم للقوة والمستمد من التشبيه بالمجهود العضلي للانسان، يجب التخلي كذلك عن مفهوم الموضوع والشيء، على الاقل عندما يتعلق الامر بدراسة العالم الذري. ان الفردية مفهوم يلازمه التعقيد دوما، والجسيم المعزول هو أبسط من أن ينعت بالفردية. وهذا الموقف الذي يقفه العلم الراهن ازاء مفهوم الشيء يتفق، ليس مع الميكانيكا الموجية وحسب، بل أيضا مع النظرية الجديدة في الاحصاء ومع نظرية المجال الموحد كذلك، النظرية التي قال بها اينشتين والتي تحاول جاهدة دمج الجاذبية في الكهرطيسية دمجا تركيبيا »، وقد كتب المسيو روير **N. Ruyer** في موضوع النقطة الأخيرة قائلا: « انه لغريب هذا الالتقاء الذي نشاهده بين نظرية الكوانتا ونظرية اينشتين في المجال الموحد التي لم تكن لها أية علاقة مع الكوانتا. فالنظريتان معا تلغيان الفردية الفيزيائية عند دراسة مختلف النقاط التي يتشكل منها السيال (أو المائع) المادي او الكهربائي القائم على فرضية الاتصال. » ويحيل المسيو روير أيضا، وبصدد نفس الموضوع، الى المقال العميق الذي كتبه المسيو كارتان **Cartan**، والذي جاء خاتمته:(3) « لقد كانت النقطة المادية (أول الأمر) مجرد مفهوم رياضي تجريدي ألفناه واعتدناه الى درجة أصبحنا معها، في نهاية الأمر، نعتبره واقعا فيزيائيا، واذا تمكنت نظرية المجال الموحد من تثبيت أقدامها فاننا سنضطر حتما الى التخلي عن هذا الواقع الفيزيائي الوهمي. ».

ولقد ناقش المسيو مايرسون **Mayerson** بتطويل هذه الاطروحة(1) ولم يمنحها - وهو العالم الايبستيمولوجي الذي كان يفكر كفيزيائي لا كرياضي - مساندته ولا موافقته، لانه

---

(1) M. Boll, l'idée générale de la mécanique ondulatoire et ses premières explications. p. 32–Paris 1923.

(2) Ruye, Revue philosophique, juillet, 1932 p. 99, note.

(3) Cartan, loe, Cit P. 28.

لم يستطع التخلي عن المرتكزات الثابتة التي يستند إليها الفيزيائي والتي ترجع في أساسها الى النزعة الواقعية الرائجة. ولكن هل ينبغي لنا ان نستمر في التمييز تمييزا جذريا بين الفكر العلمى الذي يغتذي من الرياضيات والفكر العلمى الذي تغذيه التجربة الفيزيائية؟ واذا كان ما قلناه عن الاهمية المفاجئة التي تكتسيها الفيزياء الرياضية صحيحا، افلا يمكن أن نتحدث عن فكر علمي جديد تغذيه الفيزياء الرياضية؟ واذا صح هذا فاننا سنكون امام ضرورة البحث عن وسيلة تمكننا من تحقيق الانسجام بين النزعة العقلانية والنزعة الواقعية. ولكن، الا نجد هنا بالذات مثل هذه الوسيلة؟ أليست عناصر الواقع المحرومة من فرديتها غير قابلة لان يميز بعضها عن بعض في الوقت الذي تمارس فيه تأثيرها في التأليفات التي هي بمعنى ما من المعاني تأليفات عقلية باعتبار أن العقل هو الذي يكتشفها؟ اننا نعتقد أن ما يمنح لموقف المسيو لانجوفان كامل قوته الفلسفية، هو ان الامر هنا يتعلق بواقع فرضي (أى يوخذ كفرضية)، ولذلك كان عدم تخصيص هذا الواقع الفرضي بفردية خاصة ضرورة منهجية. لم يعد من حق الباحث أن ينسب، لعناصر غير قابلة للتحديد الا داخل مجموعة، خصائص فردية، وفضلا عن ذلك فهو لا يتوفر على وسيلة تمكنه من ذلك، واذن فالنزعة الواقعية العادية خاطئة(5) يجب اذن ان نحارب بيقظة ذلك التناول الواقعي للامور في ميدان الميكروفيزياء. ان الفكر العلمي يجد نفسه اليوم في وضعية شبيهة نوعا ما بالوضعية التي كان يوجد فيها حساب اللانهايات الصغرى عند بداية نشأته. نحن هنا ازاء لانهائي الصغر الفيزيائي نعيش نفس الوضعية الشائكة التي عاشها الفكر الرياضى في القرن السابع عشر، عندما كان يواجه لاول مرة اللانهائي الصغر الرياضي...

وعلى هذا، يبدو أن هناك في اللحظة التي تفصل بين انهيار الموضوع العلمي وبين بناء واقع علمي جديد، مكاناً لفكر لا واقعي، فكر متحرك يساوق حركته وفعاليته. سيقال انها لحظة قصيرة عابرة، لا تساوي شيئا اذا ما قورنت بالفترات الزمنية التي يعيشها العلم المكتسب، العلم الذي أرسيت دعائمه وتمم بالشرح والتفسير، وأصبح مادة للتعليم ومع ذلك، ففي هذه اللحظة القصيرة، بالضبط، يجب اقتناص المنعطف الحاسم في الفكر العلمي. فبالعناية بهذه اللحظات اثناء التعليم، وبابرازها واعادة بنائها، يمكن تأسيس الفكر العلمي على ديناميته وجدليته، وهنا، في عملية التأسيس تلك، تنشأ التناقضات التجريبية المباغتة، وتحوم الشكوك حول بداهة المسلمات، وتبرز تلك التأليفات القبلية التي تكشف عن المظهر المزدوج للواقع، مثل ذلك التأليف الذي يتم عن عبقرية، والذي قام به المسيو لوي دوبري، ومثل تلك التحولات الفكرية الرفيعة التي نجد أوضح مثال لها في مبدأ التكافؤ الذي قال به اينشتين. ذلك المبدأ الذي تتهافت امامه حجج المسيو مايرسون التي تحاول أن تثبت أن القوة جوهر، كما اعتقد

(4) Mayerson. Reel et déterminisme dans la physique quantique 1933 passin

الناس ذلك طويلا. ولكي نتبين تفاهة الصبغة الواقعية التي تضفيها على الجاذبية يكفي ان نتذكر أن تغيير المنظومة المرجعية، تغييرا معلوما مدروسا بعناية، يؤدي الى محو الجاذبية تماما.

وهكذا، فمهما طالت فترات الاستقرار التي تنعم بها النظرة الواقعية، فان ما ينبغي أن يلفت انتباهنا حقا هو أن جميع الثروات الخصبة التي عرفها الفكر العلمي هي عبارة عن أزمات تجعل اعادة النظر بشكل جذري، في النظرة الواقعية أمرا ضروريا. وأكثر من هذا يجب أن نعرف أن الفكر الواقعي لا يستحدث من ذاته أزماته الخاصة. لم يحدث هذا قط. ان الاستثارة الثورية تأتيه من الخارج دوما، وبالضبط من ميدان المجرد، الميدان الذي فيه تنشأ ومنه تنطلق. إن منابع الفكر العلمي المعاصر تنتمي الى ميدان الرياضيات».

Le Nouvel esprit scientifique P. U. F. p. 132. Paris 1971

هذا وقد ترجم هذا الكتاب الى اللغة العربية الدكتور عادل العوا. منشورات وزارة الثقافة والسياحة والارشاد القومي. دمشق 1969. وقد جاءت هذه الترجمة ركيكة لاتكاد تفهم. علاوة على أخطاء في المعنى. قارن هذا النص مع الترجمة العربية ص 127وما بعدها. و ص131 وما بعدها).

## 3 - العقلانية العلمية أو الفلسفة المفتوحة

«اذا جاز لنا أن نترجم الى اللغة الفلسفية تلك الحركة المزدوجة التي تغذي الفكر العلمي، في الوقت الراهن، قلنا انها حركة تتأرجح لزوما بين ما هو قبلي وما هو بعدي، حركة ترتبط فيها النزعة التجريبية بالنزعة العقلانية، في الفكر العلمي، ارتباطا غريبا، لا يقل قوة عن ارتباط اللذة بالألم. والواقع ان كل واحدة منهما تعزز الأخرى وتبررها: ان النزعة التجريبية في حاجة الى أن تتعقل، والنزعة العقلانية في حاجة الى ان تطبق. فبدون قوانين واضحة، استنتاجية، مترابطة ومنسجمة لا يمكن للنزعة التجريبية ان تكون موضوعا للتفكير، ولا مادة للتعليم. وبدون براهين ملموسة، وبدون التطبيق على الواقع المباشر، لا يمكن للنزعة العقلانية أن تتوفر على قوة الاقناع التام. فالقانون التجريبي لا تتأكد قيمته الا عندما يصبح أساسا للتجربة. ان العلم، الذي يقوم على الجمع بين البراهين والتجارب، وبين القواعد والقوانين، بين البداهة والحوادث، هو اذن في حاجة الى فلسفة ذات قطبين، وبعبارة أدق، هو في حاجة الى نمو ديالكتيكي لأن المفهوم لا يتضح الا بالنظر اليه نظرة متكاملة، ومن وجهتي نظر فلسفيتين مختلفتين.

وسيسيء القارىء فهم ما نقوله هذا اذا اعتبر ذلك مجرد اعتراف بالثنائية. اننا نرى، بالعكس من ذلك، ان تحرك المعرفة بين قطبين ايبستيمولوجيين متناقضين دليل على أن النزعتين الفلسفيتين، التجريبية والعقلانية، يكمل كل منهما الآخر ويسير به الى منتهاه. ولذلك، فان يفكر الانسان تفكيرا علمياً معناه أن يضع نفسه في المجال (أو الحقل) الايبستيمولوجي الذي يقوم واسطة بين النظرية والتطبيق، بين الرياضيات والتجربة، وان تكون معرفته بقانون طبيعي؛ معرفة علمية معناه أن يعرفه، في آن واحد، كظاهرة وكشيء في ذاته.. •

ويجب أن نضيف الى ذلك أننا نرى أنه لا بد من تفضيل أحد هذين الاتجاهين الميتافيزيقيين على الاخر، وبالذات الاتجاه الذي يسير من العقلانية الى التجربة. وسنحاول أن نبين كيف أن فلسفة العلم الفيزيائي الراهن تتميز بهذه الحركة الايبستيمولوجية، واذن، فالتفسير الذي سنقترحه للاولوية والتفوق اللذين حظيت بهما، حديثا، الفيزياء الرياضية، سيكون عقلاني الاتجاه.

ان هذه العقلانية التطبيقية، هذه العقلانية التي تترجم المعلومات التي يمدنا بها الواقع الى برنامج للانجاز والتحقيق، تتميز في نظرنا، بشيء جديد تماما. ان التطبيق في هذه العقلانية، الرائدة الاستكشافية ليس تشويها، وهي بهذا تختلف اختلافا كبيرا عن العقلانية التقليدية. ومن ثمة فإن النشاط العلمي الذي تقوده العقلانية الرياضية ليس تجارة في المبادىء ولا تلاعبا بها. ان انجاز برنامج من التجارب، برنامج منظم تنظيما عقلانيا، يحدد واقعا تجريبيا خاليا من أي عنصر لا عقلاني وستتاح لنا الفرصة لنبين أن الظاهرة المنظمة (= الحادث العلمي) هي اكثر غنى من الظاهرة الطبيعية (= الحادث الخام) أما الآن فيكفي أننا أبعدنا من ذهن القارىء تلك الفكرة الشائعة التي مؤادها أن الواقع مرتع خصب للامعقول لا ينضب ولا يستنفذ. ان العلم الفيزيائي المعاصر بناء عقلاني، فهو يبعد من الادوات التي يشيد بها صرحه كل صبغة عقلية، ويجنب الظاهرة المشيدة من كل انحراف لا عقلي. وكما هو واضح، فان العقلانية التي ندافع عنها تقف ضد المناقشات البوليميكية التي تستند، من أجل تأكيد واقع ما، على الصبغة اللاعقلانية التي تتصف بها الظاهرة، تلك المناقشات التي ترى ان الظاهرة يلازمها عنصر عقلي لا يمكن سبر أغواره. أما بالنسبة للعقلانية العلمية فهي لا ترى في التطبيق العلمي هزيمة لها، ولا تلجأ اليه كحل وسط. بل انها تريد ان تطبق، واذا ما طبقت تطبيقا سيئا فانها تعدل من نفسها، وهذا لا يعني انها تتنكر لمبادئها، بل تجدلها (= تطبق الجدل او الديكالكتيك عليها). وأخيرا فلربما كانت فلسفة العلم الفيزيائي الفلسفة الوحيدة التي تعمل، بواسطة التطبيق وخلاله، على تجاوز مبادئها (= تجاوزا ديالكتيكا). وبكلمة واحدة انها الفلسفة الوحيدة المفتوحة. أما الفلسفات الاخرى فهي كلها تضع مبادئها فوق كل مراجعة، وتعتبر حقائقها حقائق كلية ونهائية. انها فلسفات منغلقة تفتخر بهذا الانغلاق.

وبنا عليه، الا يكون من الضروري القول: ان على الفلسفة التي تريد أن تنسجم فعلا مع الفكر العلمى المتطور باستمرار، أن تعمد الى دراسة ما تحدثه المعارف العلمية من تأثير وردود فعل في بنية الفكر؟ اننا هنا سنجد أنفسنا نصطدم، منذبداية طرحنا للدور الذي يمكن أن يكون لفلسفة ما في العلوم، مع مشكلة نرى انها مشكلة بنية الفكر وتطوره. وهنا أيضا سنجد نفس المواقف المتعارضة: فالعالم يعتقد انه ينطلق في بحثه من فكر لا بنية له، فكر خال من أية أفكار قبلية، أما الفيلسوف فهو ينطلق، في الغالب من فكر تم بناؤه، فكر يتوفر على المقولات الضرورية لفهم الواقع.

فبالنسبة للعالم، تنبثق المعرفة من الجهل، كما ينبثق الضوء من الظلام، فهو لا يرى أن الجهل عبارة عن نسيج من الاخطاء، الايجابية، المكينة، المتماسكة. انه لا يدخل في حسابه أن للظلمات الفكرية ( = الجهل) بنية خاصة، وأنه، بهذا الاعتبار، يجب على كل تجربة موضوعية صحيحة أن تعمل دوما على تحديد الكيفية التي يتم بها تصحيح خطأ ذاتي. غير أن الاخطاء لا يمكن القضاء عليها بسهولة واحدا فواحدا فهي متماسكة يشد

بعضها بعضا. ولذلك فالفكر العلمي لا يمكن أن يشيد الا من خلال عملية هدم والفكر اللاعلمي. قد يحدث في الغالب أن يمنح العالم ثقته لبداغوجية جزئية، في حين أن الفكر العلمي يجب أن يسعى الى اصلاح كلي وشامل للذات. واذا كان كل تقدم فعلي في الفكر العلمي يستلزم تحويلا ما، فان ما حصل من تقدم في الفكر العلمي المعاصر قد أحدث تغيرات وتحويلات في المبادىء نفسها، مبادىء المعرفة.

أما بالنسبة للفيلسوف الذي يجد في نفسه، بحكم مهنته، حقائق أولية قبلية، فان الموضوع المأخوذ بكليته، هو في غير حاجة الى تأكيد المبادىء العامة. فانواع الانحراف والتغيير التي تعتري الموضوع لا تسبب للفيلسوف في اى اضطراب او قلق. فاذا رأى فيها مجرد تفاصيل لا فائدة فيها اهملها، اما اذا رأى فيها وسيلة تجعله يقتنع بدون المعطى الموضوعي ينصف بلا معقولية أساسية، جمعها وكدسها. وفي كلتا الحالتين، فالفيلسوف مستعد لانشاء فلسفة للعلم، واضحة وسريعة وسهلة. ولكنها تظل دوما فلسفة الفيلسوف. وفي هذه الحالة تكفيه حقيقة واحدة للخروج من الشك والجهل واللاعقلانية، تكفيه حقيقة واحدة لإضاءة النفس ان بداهة هذه الحقيقة الوحيدة تنعكس انعكاسات لا نهاية لها. ان هذه البداهة عبارة عن حقيقة وحيدة ليست لها انواع ولا أصناف، فالفكر يعيش بداهة واحدة، فهو لا يحاول أن ينشىء لنفسه بداهات اخرى. ان هوية الفكر في «أنا أفكر» هي من الوضوح بحيث أن العلم بهذا الوعي الواضح ينقلب توا الى وعي بالعلم، الى يقين بتأسيس فلسفة للمعرفة. ان الوعي بهوية الفكر في مختلف معارفه يمد الفكر بمنهج مضمون، منهج دائم، اساسي ونهائي. فكيف يمكن اذن، أمام مثل هذا النجاح، طرح مسألة ضرورة تعديل الفكر والسعي الى البحث عن معارف جديدة؟ ان المناهج العلمية، بالنسبة للفيلسوف، على الرغم من تنوعها ومرونتها وتغطيتها لمختلف العلوم، تنطلق، مع ذلك، من منهاج اولي، موضوع سلفا، منهاج عام يشكل المعرفة كلها ويعطيها صورتها ويتناول جميع الموضوعات بنفس الشكل. ولذلك فالاطروحة التي ندافع عنها، والتي تنظر الى المعرفة كتطور للفكر وتقبل التغييرات التي تمس وحدة الـ«أنا أفكر» وثباته وخلوده، إن أطروحة كهذه، لا بد أن تقلق الفيلسوف.

وتلك بالضبط هي النتيجة التي لابد من الوصول اليها اذا اردنا ان نعرف فلسفة المعرفة العلمية بكونها فلسفة مفتوحة، بوصفها وعيا لفكر يؤسس نفسه بالعمل في المجهول والبحث في الواقع عما يكذب المعرفة تقول لا للتجربة القديمة. ومن البديهي وبدون هذا لن يتعلق الأمر بتجربة جديدة حقا. غير ان هذا الموقف الذي تعبر عنه كلمة «لا»، ليس نهائيا أبدا، بالنسبة لمن يعرف كيف يخضع مبادئه للديالكتيك، ويبني في نفسه أنواعا جديدة من البداهة، ويغني قواه التفسيرية، دون أن يعطي أي امتياز لاية قوى تفسيرية طبيعية مختصة في تفسير كل شيء.

... ولكي نوضح وجهة نظرنا بجلاء أكثر نأخذ من ميدان النزعة التجريبية نفسها

مثالا أبعد ما يكون عن تزكية أطروحتنا، نقصد بذلك ما نسميه ب « التعالي التجريبي »Transcendance experimentaire ونحن نعتقد فعلا أن هذه العبارة لا تنطوي على أية مبالغة عندما نستعملها لتعريف العلم الذي يقوم على الالات والقياس ووصفه بأنه علم متعال عن العلم الذي يقوم على الملاحظة الطبيعية. هناك قطيعة بين المعرفة الحسية والمعرفة العلمية، فنحن نرى درجة الحرارة مسجلة على الترموتر. أقول نراها ولا أقول نحس بها، وبدون نظرية، لن نتمكن ابدا من معرفة ما اذا كانت درجة الحرارة التي نراها والحرارة التي نحس بها تنطبقان فعلا على نفس الظاهرة. وسنرد في هذا الكتاب على الاعتراض الذي يزعم تلخيص التجارب العلمية بقراءة ما تسجله آلات القياس، والواقع أن موضوعية الاختبار والتحقيق لدى قراءة ما تسجله الالات تعتبر الفكرة التي نختبرها فكرة موضوعية، وبذلك يتم بسرعة احلال واقعية الدالة الرياضية محل الواقع الذي يعبر عنه المنحنى الهندسي الذي ترسمه التجربة العلمية.

واذا ما بقي هناك من يعارض الاطروحة التي تدافع عنها، والتي تضع آلة القياس فيا وراء الحاسة الجسمية، فان لدينا سلسلة احتياطية من الحجج التي نستطيع بواسطتها أن نبرهن على أن الميكروفيزياء تفترض موضوعا يقع فيا وراء الموضوعات العادية، واذن فهناك على الاقل قطيعة في النظرة الموضوعية، الشيء الذي يجعلنا على حق حينما نقول أن التجربة في العلوم الفيزيائية تجربة غير منغلقة على نفسها، بل تجربة متعالية لها ماوراء. والعقلانية التي تعطى لهذه التجربة صورتها وشكلها يجب أن تقبل ذلك الانفتاح الملازم لهذا التعالي التجريبي. ان الفلسفة النقدية التي سنبرز تماسكها وصلابتها يجب أن تقبل ما يستلزمه هذا الانفتاح من تعديلات وبكلمة بسيطة، فبا أنه من الضروري جعل الاطر الذهنية مرنة لينة، فان سيكولوجية الفكر العلمي يجب أن ترسى على أسس جديدة. ان الثقافة العلمية مطالبة باحداث تغيرات عميقة في الفكر ». (La philisophie du non, essai d'une philosophie du nouvel esprit scientifique Paris P. U. F. 1940P. 4 – 11).

# مراجع

أ - مراجع باللغة العربية:

- راندل (جون هارمان): **تكوين العقل الحديث**. جزآن. ترجمة الدكتور جورج طعمة. دار الثقافة بيروت
- ريشنباخ (هانز): **نشأة الفلسفة العلمية**. ترجمة الدكتور فؤاد زكرياء. دار الكاتب العربي. لبنان 1968
- شوكلين: **في عالم الجسيمات**. دار «مير» موسكو 1972
- العالم (محمد أمين): **فلسفة المصادفة**. دار المعارف مصر 1970
- كارودي (روجيه): **النظرية المادية للمعرفة**. ترجمة ابراهيم قريط. دار دمشق للطباعة والنشر.

ب - مراجع باللغة الفرنسية:


-ALQUIE (FERDINAND): **L'expérience**-P.U.F. Paris 1966

-BACHELARD (GASTON): **La formation de l'esprit scientifique.** Vrin. 1976.

- **Le Nouvel esprit scientifique**-P.U.F. 1971.
- **Le rationalisme appliqué.** P.U.F.
- **La philosophie du non**-P. U. F.

-BAYER (RAYMOND): **Espistémologie et Logique depuis Kant jusqu'à nos jours**-P.U.F. 1954.

-BENEZE (GEORGES): **La méthode expérimentale.** P.U.F. 1960.

-BLANCHE (ROBERT): **L'epistémologie.** P.U.F. 1972

- **La méthode expérimentale et la philosophie de la physique** Armand Colin. Coll. U2 1969.

-BOLL (MARCEL): **Histoire de la mécanique**-P. U. F. 1961.

-BOHR (NIELS): **la théorie atomique et la description des phénomemes** Gauthier-Villars. 197

- **Physique atomique et connaissance humaine**-Gauthier-Villars 1972.

-BROGLIE (LOUIS DE): **Continu et discontinu en physique moderne** Albin **Michel**

- **Matière et lumière** même éditeur.
- **La physique quantique restera-t-elle Indéterministe.** Gauthier.-Villars 1913.

-BOULIGNAND (G.) et autres: **Hommage à Gaston Bachelard**- P.U.F. 1917.

-BRUNSCHVIOG (LEON): **La physique du vingtième siècle et la philosophie,** Hermann 1936.

-CAVALLES (J): **Sur la logique et la théorie de la science.** P.U.F.

-CHISTER (MICHAFL): **La relativité.** éd. inter-nationnales-1970.

-COUDERE (PAUL): **Histoire de l'astronomie**-P.U.F. 1966.

-DESANTI (J.T.): **La philosophie silencieuse ou critique des philosophies de la science**-éd. du Seuil 1973.

-DESTOUCHES (J.L.): **La mécanique ondulatoire**-P.U.F.

- **La physique mathématique**-P.U.F.

-EINSTEIN (ALBERT): **Comment je vois le monde**-Flammarion.

- ...et infeld (Leopold): **L'évolution des idées en physique**-Payot 1974.

-FATALIEVE (KH.): **Le matérialisme dialectique et les sciences de la nature**-ed. du Progrés-Moscou .

-FICHANT (M.) et PECHENU (M.): **Sur L'histoire des sciences-f. Maspero** 1974.

-GAYDIER (PIERRE): **Histoire de la physique**-P.U.F. 1972.

- **Les grandes découvertes de la physique-éd. Corrêa** -Paris 1951.

-GOLDMANN (L.): **Recherche dialectique.** Gallimard Paris 1959.

-HEISENBERG (W.): **Physique et philosophie**-Albin Michel. 1961.

- **La nature dans la physique contemporaine.** Gallimard 1972.

-HEMPEL (CARL.G.): **Eléments d'épistémologie**-Armant colin. 1972.

-KEDROV (BONIFACE): **Dialectique Logique,Gnoséologie: leur Unité**-ed. du progrés. Moscou.

-KOYRE (A): **Etudes d'Histoire dela pensée scientifique**-P U.F.

-LECOURT (DOMINIQUE): **Pour une critique de l'épistémologie.** F. Maspero. **1972.**

-LELIONNAIS (F.) et autres: **La méthode dans les sciences modernes**-Albert blanchard.

-MARCH (A): **La physique moderne et ses théories.** Gallimard.

-MEIGNE (MAURICE): **Structure de la matière**-P.U.F. 1963.

-O'NEIL (W.M.): **Faits et théories-A.** Colin 1972.

-PARK (P.): **Aspects de la physique contemporaine**-Dunod, Paris 1968.

-PARNOV (E.): **Au carrefour des infinis**-ed. Mir. Moscou 1972.

-PIAGET (J.): **Introduction à l'épistémologie génétique 2 t**-P.U.F. 1972.

- ... et autres: **Logique et connaissance scientifique** Gallimard 1967.

-PLANK (MAX): **L'image du monde dans la physique moderne** -Gauthier. genève 1963.

-POINCARE (HENRIE): **La science et l'hypothése.** Flammarion 1968.

- **La valeur de la science**-Flammarion.

-PONOMAREV (LEONIDE): **Au pays des quanta** -éd. vrin. Moscou 1974.

-REICHENBACH (H.): **Physique et philosophie**-Albin Michel 1961.

- **«Causalité et induction».** Bultin de la société française de philosophie juillet-septembre 1937.
-RYDNIK (V.): **Qu'est-ce-que la mécanique quantique**-ed. Min. Moscou 1969
-SCHRODINGER (E.): **Science et humanisme, La physique de notre temps.** Desclée. Belgique 1954.
-TOULMIN (STEPHEN): **L'explication scientifique**-AR. Colin 1973.
-ULLMO (J.): **La pensée scientifique moderne**-Flammarion 1969.
-**ACTES DU XII Congrès international d'histoire des sciences**-Albert Blanchard 1970.

# فهرس الموضوعات

## القسم الاول

## القسم الثاني



## القسم الثالث

**منشورات دار الطليعة**

## دراسات فلسفية عامة

- الموسوعة الفلسفية (طبعة ثالثة منقحة)
  اعداد لجنة من العلماء والاكاديميين السوفياتيين،
  باشراف م. روزنتال وب. يودين .
- رسالة في اللاهوت والسياسة
  سبينوزا
- خطابات الى الامة الالمانية
  يوهان فيخته
- هيغل : مختارات ـ ١ ـ
- هيغل : مختارات ـ ٢ ـ
- هيغل : علم ظهور العقل
  ترجمة : مصطفى صفوان

**ـ هيغل : موسوعة علم الجمال :**

- المدخل الى علم الجمال (طبعة ثانية)
- فكرة الجمال ـ ١ ـ (طبعة ثانية)
- فكرة الجمال ـ ٢ ـ (طبعة ثانية)
- الفن الرمزي
- الفن الكلاسيكي
- الفن الرومانسي
- فن العمارة
- فن النحت
- فن الرسم
- فن الموسيقى
- فن الشعر ـ ١ ـ
- فن الشعر ـ ٢ ـ
- العامل الاقتصادي في التاريخ
  جورج بليخانوف
- الفن والتصور المادي للتاريخ
  جورج بليخانوف

- نقد نقادنا
ردود على منتقدي النظرية المادية التاريخية في تطور المجتمعات
جورج بليخانوف
- محاورات مع جورج لوكاش
اجراها : ابندروث ، هولتس، كوفلر، بنكس
- تطور الفكر الفلسفي ( طبعة ثانية )
تيودور اويزرمان
- فلسفة الانوار
ف. فولغين
- الف باء المادية الجدلية
ف. بودوستنك وا. ياخوت
- فلسفة المعرفة عند غاستون باشلار
محمد وقيدي
- مدخل الى علم المنطق (المنطق التقليدي)
د. مهدي فضل الله ( طبعة ثانية )
- الوجود والقيمة
سامي خرطبيل
- البنيوية : فلسفة موت الانسان
روجيه غارودي
- أضواء فلسفية على ساحة الحرب اللبنانية
د. انطوان خوري
- نقد العقل الوضعي : دراسة في الازمة المنهجية لفكر زكي نجيب محمود
د. عاطف احمد

## دراسات في الفسفة العربية ـ الاسلامية

- نحن والتراث
قراءات معاصرة في تراثنا الفلسفي
د. محمد عابد الجابري ( طبعة ثانية )
- منطق العرب من وجهة نظر المنطق الحديث (طبعة ثانية)
د. عادل فاخوري
- الرسالة الرمزية في أصول الفقه
د. عادل فاخوري
- الفكر الواقعي عند ابن خلدون
تفسير تحليلي وجدلي لفكر ابن خلدون في بنيته ومعناه
ناصيف نصار
- ابن خلدون وتاريخيته
د. عزيز العظمة
- الفلسفة السياسية عند الفارابي
( طبعة ثانية )
عبد السلام بنعبد العالي
- المناحي الفلسفية عند الجاحظ
د. علي بو ملحم

3000 / 81 / 881






الثمن : 27 ل.ل.
او ما يعادلها

دار الطليعة للطباعة والنشر
بيروت